

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 II Klebstoffverarbeitung-

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	I
1.1 Ausgangslage und Zielsetzung	I
1.2 Ergebnisse der Untersuchungen zu BVT der Klebstoffanwendung	VI
1.2.1 Herstellung von Klebebändern	VII
1.2.2 Papier- und Verpackungsindustrie: Herstellung von Verbundfolien	VIII
I Gegenstand des Dokumentes	IX
I.1 Kontext	IX
I.1.1 Umweltgefährdung	IX
I.1.2 Bedeutung der IVU- Richtlinie	X
I.1.3 Begriffsdefinition “Beste Verfügbare Techniken“	X
II Relevante deutsche und internationale umweltrechtliche Regelwerke	XI
II.1 Internationale Verpflichtungen	XI
II.1.1 UN/ECE Konvention über den grenzüberschreitenden Ferntransport von Luftschadstoffen und ihre Folgeprotokolle	XII
II.1.2 Die Richtlinie über nationale Emissionshöchstmengen der Europäischen Union (NEC-Richtlinie)	XII
II.1.3 Die Lösemittel-Richtlinie der Europäischen Union	XIII
II.2 Rechtsgrundlagen in Deutschland	XIV
II.2.1 Gesetze	XIV
II.2.1.1 Bundesimmissionsschutzgesetz	XIV
II.2.1.2 Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz	XV
II.2.1.3 Wasserhaushaltsgesetz	XV
II.2.2 Verordnungen	XVI
II.2.2.1 Bundesimmissionsschutzverordnung	XVI
II.2.2.2 Gefahrstoffverordnung	XVI
II.3 Gegenstand des Forschungsvorhabens	XVI
1 Allgemeine Daten zum Bereich der Klebstoffverarbeitung	1
1.1 Klebstoffverbrauch	2
1.2 Einteilung der Klebstoffe	5
1.3 IVU-relevante Tätigkeiten	8
1.4 Fallstudien Klebstoffanwendung	10

2	Klebebandherstellung	13
2.1	Allgemeine Informationen	13
2.2	Verwendete technische Prozesse und Verfahren	14
2.2.1	Aufbau von Klebebändern	14
2.2.2	Einsatzstoffe für die Klebebandherstellung	14
2.2.2.1	Eigenschaften der Haftklebstoffe	18
2.2.2.2	Anwendungen von Haftklebstoffen	19
2.2.3	Herstellung von Klebebändern	21
2.3	Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte	27
2.4	Ermittlung der BVT- Kandidaten	28
2.5	Vorschlag der besten verfügbaren Technik	29
2.6	Neue fortschrittliche Verfahren	30
2.7	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	30
3	Papier- und Verpackungsindustrie	32
3.1	Herstellung von Verbundfolien	32
3.1.1	Allgemeine Informationen	32
3.1.2	Verwendete technische Prozesse und Verfahren	33
3.1.2.1	Verwendete Verbundmaterialien für die Folienkaschierung	33
3.1.2.2	Kaschierverfahren	35
3.1.2.3	Vorbehandlung vor dem Kaschieren	37
3.1.2.4	Druckverfahren	38
3.1.2.5	Klebstoffe für Kaschierverfahren	38
3.1.3	Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte	43
3.1.4	Ermittlung der BVT-Kandidaten	44
3.1.5	Vorschlag der besten verfügbaren Technik	45
3.1.6	Neue fortschrittliche Verfahren	46
3.1.7	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	46
4	Fahrzeugindustrie	49
4.1	Herstellung von Personenkraftwagen	
4.1.1	Allgemeine Informationen	49
4.1.2	Verwendete technische Prozesse und Verfahren	51
4.1.2.1	Applikation	51
4.1.2.2	Produktionslinien mit Klebstoffanwendung	52
4.1.2.3	Rohbau	52
4.1.2.4	Lackiererei	54
4.1.2.5	Montage	54
4.1.2.6	Aggregatefertigung	55
4.1.3	Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte	55
4.1.4	Emissionsminderungsmaßnahmen	57

4.2	Herstellung von Nutzfahrzeugen	58
4.2.1	Allgemeine Informationen	58
4.2.2	Verwendete technische Prozesse und Verfahren	58
4.2.2.1	Rohbau	59
4.2.2.2	Lackiererei	60
4.2.2.3	Fertigbau	60
4.2.3	Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte	61
4.2.4	Emissionsminderungsmaßnahmen	61
4.2.5	Neue fortschrittliche Verfahren	63
4.3	Wohnwagen- und Wohnmobilherstellung	64
4.3.1	Allgemeine Informationen	64
4.3.2	Verwendete Prozesse und Verfahren	64
4.3.3	Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte	64
4.4	Zulieferindustrie	65
4.4.1	Allgemeine Informationen	65
4.4.2	Emissionsminderungsmaßnahmen	68
4.5	Herstellung von Schienenfahrzeugen	69
4.5.1	Allgemeine Informationen	69
4.5.2	Verwendete Prozesse und Verfahren	69
4.6	Herstellung von Flugzeugen	70
4.6.1	Allgemeine Informationen	70
4.6.2	Verwendete technische Prozesse und Verfahren	70
5	Klebstoffanwendung in der Schuh- und Lederwarenindustrie	73
5.1	Schuhindustrie	73
5.1.1	Allgemeine Informationen	73
5.1.2	Verwendete technische Prozesse und Verfahren	75
5.1.2.1	Klebstoffapplikation	75
5.1.2.2	Produktionsprozesse	76
5.1.3	Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte	81
5.1.3.1	Emissionen in die Atmosphäre	81
5.1.3.2	Abfälle	81
5.1.4	Emissionsminderungsmaßnahmen	82
5.1.5	Auswahl von Emissionsminderungsmaßnahmen	85
5.1.6	Neue fortschrittliche Verfahren	85
5.2	Lederwarenindustrie	86
6	Holz- und Möbelindustrie	89
6.1	Herstellung von Holzwerkstoffen	89
6.1.1	Allgemeine Informationen	89
6.1.2	Verwendete technische Prozesse und Verfahren	90
6.1.3	Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte	92

6.2	Möbelherstellung	92
6.2.1	Allgemeine Informationen	92
6.2.2	Verwendete technische Prozesse und Verfahren	93
6.2.2.1	Klebstoffe	93
6.2.2.2	Klebstoffapplikation	95
6.2.2.3	Matratzenherstellung	95
6.2.2.4	Herstellung von Kastenmöbeln	99
6.2.2.5	Herstellung von Küchen- und Badezimmermöbeln	99
6.2.3	Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte	99
6.2.4	Emissionsminderungsmaßnahmen	100
7	Industrielle Montage	103
	Anhang: Fallstudie Klebebandherstellung	105

Abbildungsverzeichnis

Abbildung I: Untersuchte Industriebereiche der Lack- und Klebstoffverarbeitung II

Abbildung 1-1: Anteile der 1999 in Deutschland hergestellten Klebstoffe an der Gesamtmenge	2
Abbildung 1-2: Verbrauch an Klebstoffen in den Marktsegmenten	4
Abbildung 1-3: Einteilung der Klebstoffe nach der chemischen Basis	5
Abbildung 1-4: Einteilung der Klebstoffe nach dem Abbinde Mechanismus	6
Abbildung 2-1: Aufbau von doppelseitigen Klebebändern	14
Abbildung 2-2: Klebebandherstellung mit Lösemittelklebstoffen und Abluftreinigung	22
Abbildung 2-3: Applikation von Schmelzklebstoffen nach dem Rollraketverfahren	23
Abbildung 2-4: Produktionsanlage für die Herstellung von Klebebändern mit UV-vernetzenden Haftklebstoffen nach dem Transfervverfahren	25
Abbildung 3-1: Trockenkaschierverfahren mit lösemittelhaltigen Klebstoffen	35
Abbildung 3-2: Lösemittelfreie Nasskaschierung	37
Abbildung 3-3: Entwicklung des Klebstoffmarktes für Kaschierklebstoffe	40
Abbildung 4-1: Produktionslinien der Pkw- Serienfertigung mit Klebstoffanwendung	52
Abbildung 4-2: Herstellung von PKW-Verkleidungsteilen in konventionellen Anlagen (B-Säulenverkleidung)	66
Abbildung 4-3: Fertigung von Verkleidungsteilen mit wässrigen Dispersionsklebstoffen	67
Abbildung 5-1: Anteil der 1999 in Deutschland hergestellten Schuhe	74
Abbildung 5-2: Prozessablauf der Schuhherstellung	77
Abbildung 6-1: Matratzenherstellung mit Latex nach dem Dunlop-Verfahren	98

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Durchgeführte Fallstudien für den Bereich der Klebstoffverarbeitung	IV
Tabelle 2: Durchgeführte Fallstudien für den Bereich der Lackanwendung	V
Tabelle 3: Anwendungen von Haftklebstoffen für Klebebänder	VI
Tabelle I: Untersuchte Industriebereiche der Lack- und Klebstoffverarbeitung	XVIII
Tabelle 1-1: Lösemiteleinsatz und IVU-Relevanz von Industrieanlagen der untersuchten Industriebereiche	9
Tabelle 1-2: Untersuchte Unternehmen	10
Tabelle 2-1: Haftklebstoffe für die Klebebandherstellung	15
Tabelle 2-2: Eigenschaften der Haftklebstoffe	18
Tabelle 2-3: Anwendungsbereiche und Haftklebstoffe für Klebebänder	20
Tabelle 2-4: Haftklebstoffarten und deren Anwendung	21
Tabelle 2-5: Grenzwerte für diffuse und unbehandelte Emissionen nach 31. BImSchV	27
Tabelle 4-1: Exemplarische Klebstoffanwendung in der Serienfertigung der AUDI AG	56
Tabelle 4-2: Reduktion der Lösemittelklebstoffanwendungen bei EVOBUS	63
Tabelle 5-1: Klebstoffe in der Schuhindustrie	75

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 die Anlagen zur Lack- und Klebstoffanwendung (Teilbereiche der Nr. 6.7 des Anhangs IIVU-RL: Behandlung von Oberflächen von Stoffen, Gegenständen oder Erzeugnissen unter Verwendung von organischen Lösemitteln) in die künftigen Arbeiten auf europäischer Ebene eingebracht werden.

1.1 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.

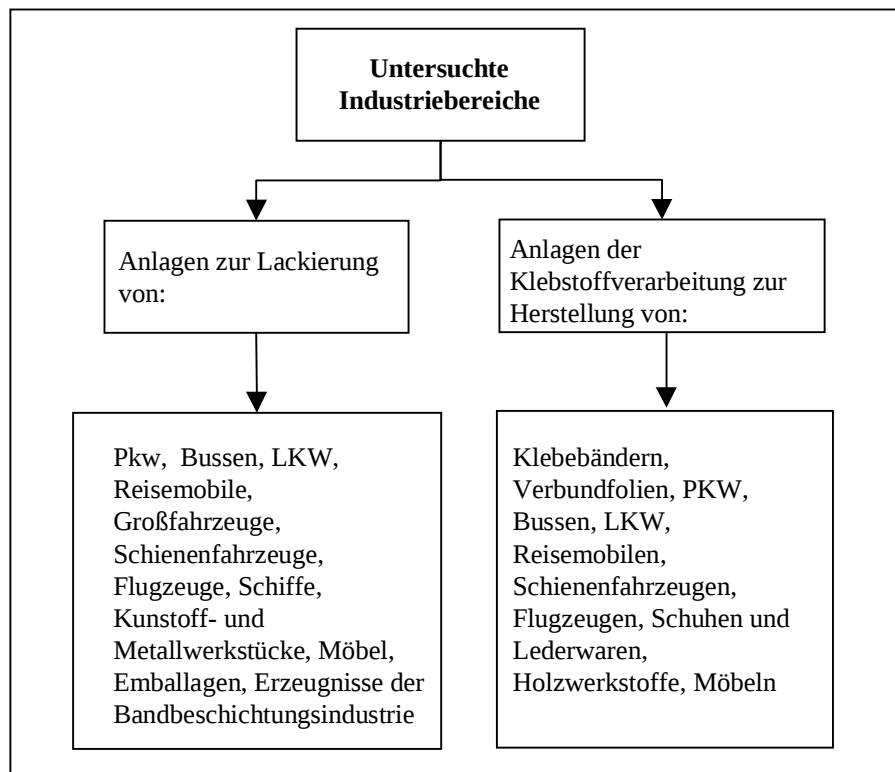


Abbildung 1: *Untersuchte Industriebereiche der Lack- und Klebstoffverarbeitung*

Die Prozessbeschreibungen basieren daher überwiegend auf **Fallstudien** und **Betriebsbesichtigungen** repräsentativer Anlagen sowie auf 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
- Wasserseitige Emissionen
- Abfall
- Verbrauch an Einsatzstoffen und Energie
- Sonstige Daten wie Angaben über Abwärme, 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 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 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

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

Tabelle 2: Durchgeführte Fallstudien für den Bereich der Lackanwendung

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

1.2 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 200 t/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).

Prozessbeschreibungen allgemeiner Verfahren, die in vielen Bereichen der Lack- und Klebstoffanwendung eingesetzt werden, sind in den Anhängen des Bandes *Lackanwendung* 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)

1.2.1. Herstellung von Klebebändern

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

Tabelle 5: Anwendungen von Haftklebstoffen für Klebebänder

Einsatzbereich der Klebebänder	Anwendung	Haftklebstoff
Verpackung	Haftetiketten, Verpackungsklebebänder	SIS-Blockpolymere als Schmelzklebstoff, lösemittelbasierte Naturkautschukklebstoffe (SB) , 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	Lösemittelbasierte Naturkautschukklebstoffe, Acrylsäureester und Acrylate
Bauindustrie	Schaumstoffklebebänder zur Dichtung von Fenstern, zum Abdichten von Bau- und Dehnungsfugen, Teppichbodenklebebänder etc.	Acrylatklebstoffe, auf Basis von Lösemitteln oder als wässrige Dispersion
Medizin	Medizinische Tapes, Heftpflaster	Reinacrylate, Polyacrylate
Möbelindustrie	Transferklebebänder für Spiegel etc.	Acrylatklebstoffe, lösemittelhaltig oder wässrig

Lösemittelhaltige Klebstoffe sind kursiv 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.

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

1.2.2. 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 Klebstoffsystem, 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 Wiederverwertung der Lösemittel durch Destillation. Bei nicht wiederverwendbaren Lösemitteln (z.B. in Folge stark wechselnder Lösemittelgemische), wird die thermische Abluftreinigung eingesetzt. Reingaswerte von $< 20 \text{ mg C/m}^3$ werden erreicht.
- Reduktion diffuser Emissionen durch Destillation von lösemittelhaltigen Klebstoffresten und Reinigungs Lösemitteln mit anschließender Verwertung der Lösemittel.

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 Verbindungen¹ (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 Stickoxiden (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).

¹ 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]

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 verwendet 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)

DFIU-Karlsruhe, Umsetzung der IVU-Richtlinie: Lack- und Klebstoffanwendung

-
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 existieren nationalen und internationale 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 (SO₂), Stickoxide (NO_x), VOC und Ammoniak (NH₃) 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 SO₂, NH₃, 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. [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 Lösemittelwirtschafts-

pläne 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 folgende 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 Altanlagenanierung, 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 deutsche 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 die 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 werden². 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 I).

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]).

² Zu Beginn des Projektes wurde von einem Start der TWG im Sommer 2000 ausgegangen

Tabelle I: *Untersuchte Industriebereiche der Lack- und Klebstoffverarbeitung*

Klebstoffverarbeitung Anlagen zur Herstellung von:	Lackverarbeitung Anlagen zur Lackierung von:
Klebebändern	PKW
Verbundfolien	Bussen und LKW
PKW	Reisemobilen
Nutzfahrzeugen: Busse, LKW	Großfahrzeugen
Reisemobilen	Schienenfahrzeugen
Schienenfahrzeugen	Flugzeugen
Flugzeugen	Schiffen
Schuhen und Lederwaren	Kunststoffteilen
Holzwerkstoffe und Möbel	Möbeln
	Metallwerkstücken
	Erzeugnisse der 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. BImSchV 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 Verfügbaren 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

[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 Automobilkarossen (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 Daten zum Bereich der Klebstoffverarbeitung

Die Fügechnik Kleben hat in den industriellen Anwendungen in den letzten Jahren stark zugenommen. Eine Verbindung verschiedener Leichtbauwerkstoffe, wie z.B. im Fahrzeugbau, ist durch die klassischen Fügeverfahren oft nicht realisierbar. Verbindungen von bestimmten Materialkombinationen werden erst durch die Klebetechnik möglich. Im Gegensatz zu Schweißverbindungen, kommt es nicht durch Gefügeveränderungen zur Verringerung der Materialfestigkeit an der Fügestelle [PICKER 2000]. Die Klebeverbindung ermöglicht zudem einen homogenen Kraftfluss und damit ein gutes Festigkeitsverhalten auch bei geringen Material-Wandstärken [INDUSTRIEVERBAND KLEBSTOFFE 2000]. Die Verbindung von Werkstücken über Klebstoffe weist im Vergleich zu anderen Verbindungsverfahren folgende Vorteile auf:

- Verschiedene Werkstücke können verbunden werden, die über klassische Fügeverfahren (z.B. Schweißen) nicht zu verbinden sind.
- Die spezifischen Werkstoffeigenschaften der zu verbindenden Werkstücke bleiben erhalten.
- Klebstoffe ermöglichen neuartige Konstruktionen unter Integration wichtiger Funktionen (z.B. elektrisch leitfähige Klebstoffe).
- Durch Anwendung von Klebstoffen lassen sich optisch einwandfreie Oberflächen der gefügten Werkstücke erhalten.

In den technischen Anwendungen werden Klebstoffe neben dem Fügen von Bauteilen auch als Dichtstoffe verwendet. Dichtstoffe stellen eine Verbindung zwischen den Werkstückoberflächen her [STACHOWAIK 1998].

Klebstoffe

Nach DIN 16920 ist ein **Klebstoff** ein nichtmetallischer Stoff, der Fügeteile durch Flächenhaftung und innere Festigkeit verbinden kann. Die Verbindung kommt in Folge von Kohäsions- und Adhäsionskräften zustande.

Dichtstoffe

Ein **Dichtstoff** ist nach DIN 52460 ein nichtmetallischer Werkstoff, der Spalten (Fugen, Hohlräume) zwischen Körpern durch Stoffschluss und volumenüberbrückende Eigenschaften gas- und flüssigkeitsdicht ausfüllt, ohne dass sich die Gefüge der Körper wesentlich verändern.

In den technologischen Anwendungen ist eine eindeutige Zuordnung zum Anwendungszweck oft nicht möglich, da die eingesetzten Formulierungen sowohl die Bauteile verbinden (fügen) als auch gegen äußere Einflüsse abdichten sollen. Allerdings dominiert die Anwendung „Fügen“ in den Sektoren. Die Kleb- und Dichtstoffe werden aus diesem Grund im Folgenden, zusammenfassend als Klebstoffe bezeichnet und gemeinsam behandelt.

1.1 Klebstoffverbrauch

1999 wurden in Deutschland 509.000 Tonnen Klebstoffe und 123.000 Tonnen Dichtstoffe hergestellt. 1995 waren es im Vergleich 340.000 Tonnen Klebstoffe [HEßLAND 1997, INDUSTRIEVERBAND KLEBSTOFFE 2000]. Die hergestellten Klebstoffe teilen sich auf die in Abbildung 1-1 dargestellten Formulierungen auf.

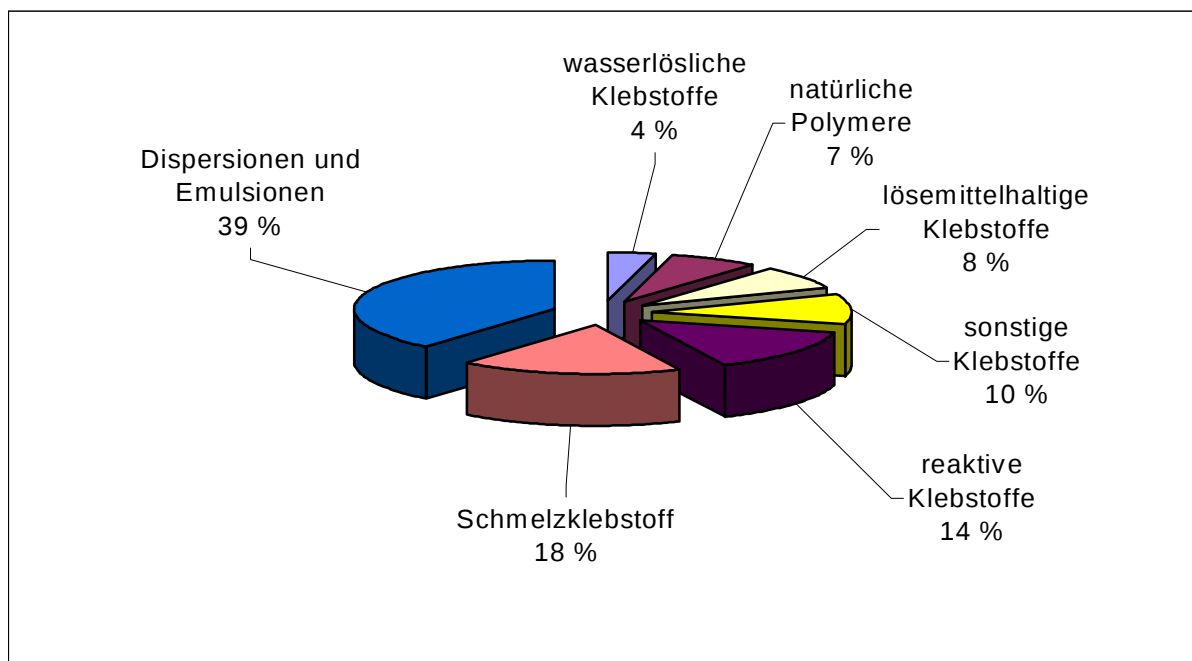


Abbildung 1-1: Anteile der 1999 in Deutschland hergestellten Klebstoffe an der Gesamtmenge

Von den 1999 hergestellten Klebstoffen haben die Dispersions- und Emulsionsklebstoffe mit Wasser als Trägermedium, mit 39 % den größten Anteil. Lösemittelhaltige Klebstoffsysteme haben einen Anteil von 8 % an der Gesamtmenge. Deren Anteil ist weiter rückläufig. Bei den natürlichen Polymeren handelt es sich um Klebstoffe auf Basis von Glutamin und Kasein. Als sonstige Klebstoffe sind in Abbildung 1-1 lösemittelfreie Formulierungen dargestellt, die sich nicht den übrigen Gruppen zuordnen lassen (z. B. Bitumen).

Die industriellen Klebstoffanwendung verursacht 7 % der gesamten VOC-Emissionen. Dabei verursachen Lackverarbeitung und sonstige Anwendungen (Kunststoffverschäumung, Aerosole, Kosmetika, Kunststoffverarbeitung sowie Metallbearbeitung) den größten Anteil (vgl. Teilband Lackanwendung).

Organische Lösemittel in den Klebstoffformulierungen dienen dem Lösen der Klebstoffpolymere und überführen diese dadurch in einen niedrig viskosen Zustand. Dies ist z.B. notwendig, um eine ausreichende Benetzung der zu fügenden Werkstückoberflächen zu erreichen. Nach der Klebstoffapplikation auf die zu fügenden Oberflächen, verdunsten die Lösemittel und belasten als sog. flüchtige organische Verbindungen (engl. volatile organic compounds) die Umwelt. Die Lösemittel in den Klebstoffformulierungen sind Alkohole, Ketone, Ester und aromatische Kohlenwasserstoffe [STACHOWAIK 1998]. Die Verbindungen liegen meist als Lösemittelgemische in den Formulierungen vor.

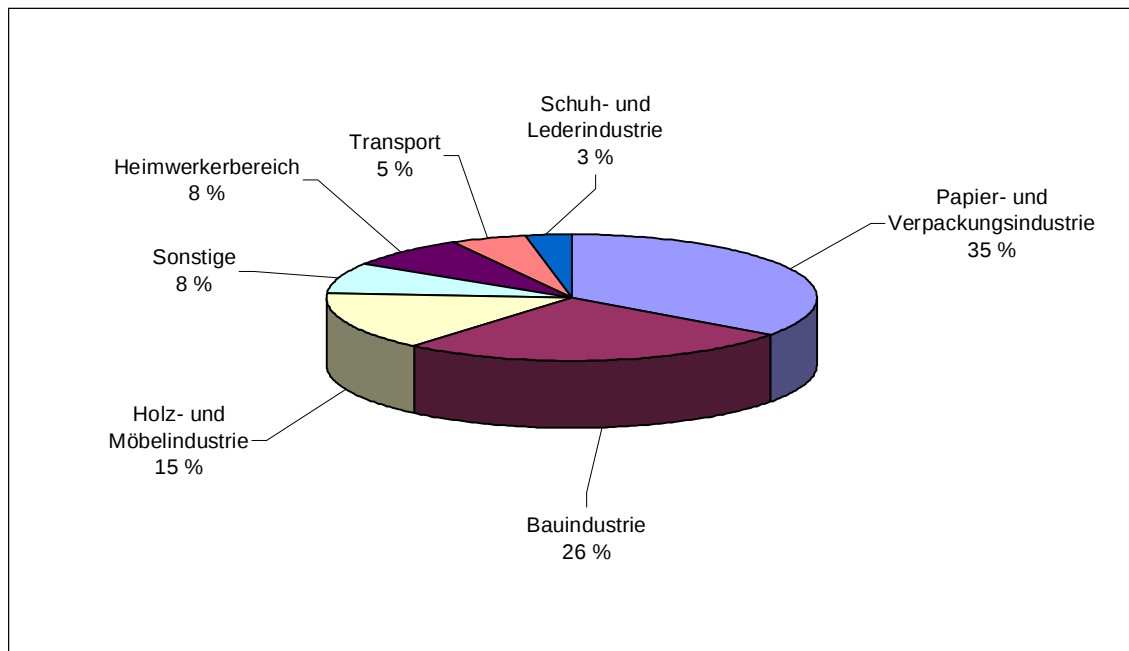


Abbildung 1-2: Verbrauch an Klebstoffen in den Marktsegmenten [INDUSTRIEVERBAND KLEBSTOFFE 2000]

Der Klebstoffverbrauch in Deutschland teilt sich auf die in Abbildung 1-2 skizzierten Marktsegmente auf. Den größten Anteil am Klebstoffverbrauch hat mit 35 % die Papier- und Verpackungsindustrie. Bei der Klebstoffanwendung in der Bauindustrie und im Heimwerkerbereich handelt es sich im Sinne der IVU-Richtlinie nicht um stationäre Anlagen: Die Klebstoffanwendung in der Bauindustrie erfolgt überwiegend durch Handwerksbetriebe auf Baustellen, während der Heimwerkerbereich keine industrielle Anwendung darstellt. Die Bereiche werden daher in diesem Projekt nicht untersucht. Montagevorgänge in Elektrotechnik und Maschinenbau sowie die Klebebandherstellung sind in Abbildung 1-2 als sonstige Anwendungen zusammengefasst.

Die Anwendung von **lösemittelhaltigen Klebstoffsystemen** ist aus Gründen des Umwelt- und Arbeitsschutzes und der Fertigungstechnik in den meisten Bereichen durch **leistungsfähige, lösemittelfreie Klebstoffsysteme** ersetzt worden. 1995 betrug der Anteil der lösemittelhaltigen Klebstoffsysteme an der in Deutschland produzierten Menge 12,5 %, 1999 nur noch 8 % (vgl. Abb. I-1). In einigen Industriesektoren hat bisher noch keine Substitution stattgefunden. In diesen Bereichen fehlen derzeit noch umweltfreundlichere Produkte mit gleichwertigen technologischen Eigenschaften. In diesen Bereichen wird die Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben durch den Einsatz von nachgeschalteten Abluftreinigungsanlagen

erreicht. Als sekundäre Emissionsminderungsmaßnahme wird vor allem die thermische Nachverbrennung sowie Ad- und Absorptionsverfahren eingesetzt.

1.2 Einteilung der Klebstoffe

Weltweit werden ca. 250.000 verschiedene Klebstoffe produziert. In Deutschland sind ca. 25.000 verschiedene Klebstoff-Produkte im Handel erhältlich. Eine einheitliche und detaillierte Einteilung der Klebstoffe ist auf Grund der großen Vielfalt der Verbindungen nicht möglich [HABENICHT 1997]. Klebstoffe werden daher im allgemeinen nach der chemischen Basis oder dem Abbinde Mechanismus eingeteilt [STACHOWAIK 1998].

• Einteilung nach der chemischen Basis

Bei einer Einteilung nach der chemischen Basis werden organische und anorganische Klebstoffe unterschieden (vgl. Abbildung 1-3). Die Mehrzahl der im technischen Bereich verwendeten Klebstoffe, sind künstlich hergestellte, organische Verbindungen.

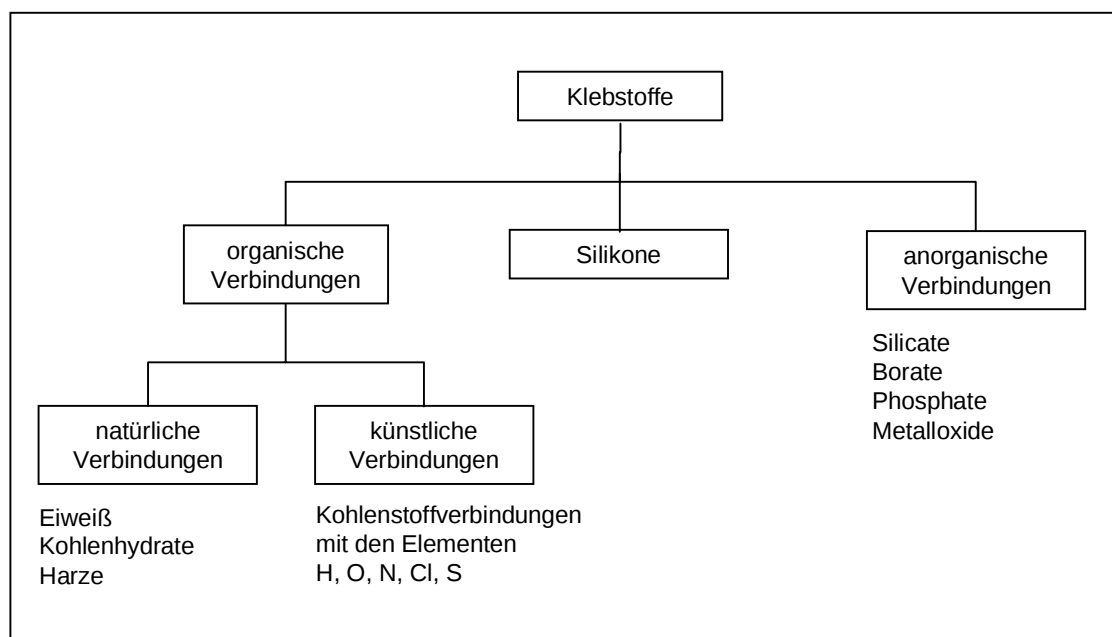


Abbildung 1-3: Einteilung der Klebstoffe nach der chemischen Basis; Quelle [ENDLICH 1995]

• Einteilung nach dem Abbindemechanismus

Bei einer Einteilung nach dem Abbindemechanismus werden die chemisch reagierenden Systeme und die physikalisch reagierenden Systeme unterschieden (Abbildung 1-4) zusätzlich wird nach der Zahl der Komponenten in den Klebstoffformulierungen differenziert.

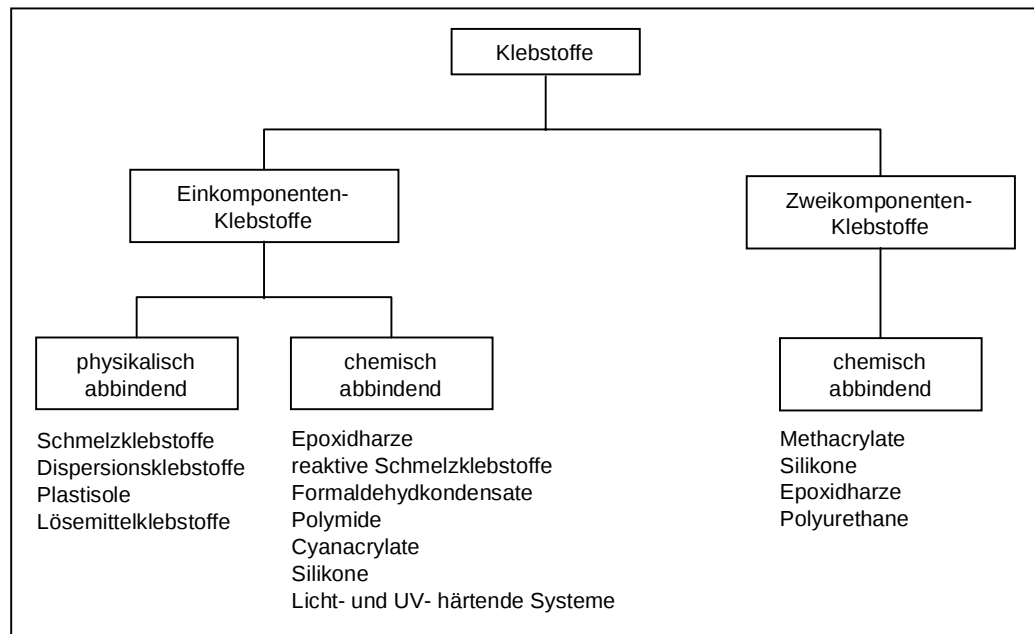


Abbildung 1-4: Einteilung der Klebstoffe nach dem Abbindemechanismus

• Chemisch reagierende Systeme

Zu Beginn des Klebens liegen in der Klebstoffschicht reaktionsbereite Monomer- bzw. Prepolymermoleküle vor, die unter bestimmten Parametern (z. B. Druck oder Temperatur) anschließend miteinander in der Klebefuge zu Polymerverbindungen reagieren. Dabei erfolgt Verbindung der im flüssigen Klebstoff vorliegenden niedermolekularen Verbindungen zu den in der ausgehärteten Klebstoffschicht vorliegenden hochmolekularen Verbindungen erfolgt über unterschiedliche Reaktionsmechanismen. Den chemisch reagierenden Systemen sind Hilfs- und Füllstoffe beigemischt, um bestimmte technologische Eigenschaften einzustellen.

Bei **1-Komponentenklebstoffen (1K)** findet der Klebstoff die zur Aushärtung notwendige zweite Komponente (z.B. Luftfeuchtigkeit) in der Klebefuge vor. Die Verfestigung der reaktionshärtenden **2-Komponenten-Klebstoffe** tritt durch chemische Reaktionen zwischen der

Härtekomponente und dem Klebstoff ein. Die zur Härtung führenden chemischen Reaktionen sind Polymerisations- und Polyadditionsreaktionen. Polymerisationsklebstoffe, die in der Serienfertigung verwendet werden, sind z.B. die Methylmethacrylate. Polyadditionsklebstoffe dieser Gruppe sind Vertreter der zwei Komponenten Epoxid- und Polyurethanverbindungen [STACHOWAIK 1998, HABENICHT 1997, PICKER 2000].

Die Verfestigung bei **warm härtenden Stoffen** tritt durch wärmebedingte Polymerisation bei 100 - 250°C ein. Warmhärtende Stoffe sind z. B. die im Automobil-Rohbau eingesetzten Polyadditionsklebstoffe auf Basis von Epoxidharzen.

Bei **feuchtigkeitshärtenden Stoffen** liegen die Verbindungen als Monomere vor. Die Einzelmoleküle sind durch mehrere funktionelle Gruppen in der Lage, Polymere zu bilden. Diese Verbindungen werden als 1K- oder 2K-Materialien verarbeitet. Die Verfestigungsreaktion erfolgt nach Applikation über die Diffusion von Luftfeuchtigkeit in die Klebstoffe. Feuchtigkeitshärtende Verbindungen sind Polymerisationsklebstoffe, z. B. auf Basis von Cyanacrylaten und Verbindungen aus der Gruppe der Polyurethanklebstoffe und Silikone [PICKER 2000]. Sie werden z.B. für Verbindungen von Glas mit Metallen verarbeitet.

Bei **anaerob-härtenden Stoffen** tritt die Verfestigung durch Polymerisation nach dem Fügen von Metallen, unter dem sich dann einstellenden Sauerstoffabschluss, ein. Die Aushärtung der Formulierungen kann durch Wärme beschleunigt werden. Einige der im Automobilbau verwendeten Methacrylate sind anaerob-härtende Verbindungen [PICKER 2000].

• Physikalisch abbindende Systeme

Die physikalisch abbindenden Systeme bestehen aus nur einer Komponente, den bereits im flüssigen Klebstoff vorliegenden Polymeren. Diesen sind Hilfs- und Füllstoffe zur Eigenschaftsförderung beigemischt. Die Polymere werden zur Herstellung eines benetzungsfähigen Zustands über erhöhte Temperaturen verflüssigt, in einem Lösemittel gelöst oder in Wasser oder Lösemittel dispergiert. Zu den physikalisch abbindenden Systemen zählen Schmelzklebstoffe, Dispersionsklebstoffe und Lösemittelklebstoffe.

Schmelzklebstoffe stellen die größte Gruppe unter den physikalisch abbindenden Systemen dar. Sie sind bei Raumtemperatur feste, thermoplastische Verbindungen, die durch Abkühlen des geschmolzenen Materials bei gleichzeitigem Aufbau von Kohäsions- und Adhäsionskräften aushärten.

• Physikalisch-chemisch abbindende Systeme

Die reaktiven Schmelzklebstoffe stellen eine Kombination physikalischer und chemischer Mechanismen dar. Die Klebstoffe werden im erwärmten Zustand aufgetragen und ergeben nach Abkühlung eine ausreichende Handhabungsfestigkeit der Klebung und härten anschließend über eine chemische Reaktion aus [STACHOWAIK 1998].

1.3 IVU-relevante Tätigkeiten

In den folgenden Bereichen werden größere Mengen an Klebstoffen verarbeitet:

- Klebebandherstellung
- Papier- und Verpackungsindustrie
- Fahrzeugindustrie mit den Tätigkeiten Herstellung von PKW, Nutzfahrzeugen, Wohnwagen- und Reisemobilen, Zulieferteilen, Schienenfahrzeugen, und Flugzeugen
- Schuhindustrie
- Lederwarenindustrie
- Holz- und Möbelindustrie
- Industrielle Montagevorgänge

Auf Grund einer 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 aus Klebstoffen und Vorbehandlungen 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.

Der Lösemiteleinsatz in Anlagen der untersuchten Sektoren ist in Tabelle 1-1 dargestellt.

Tabelle 1-1: Lösemittleinsatz und IVU-Relevanz von Industrieanlagen der untersuchten Industriebereiche

Anlagen zur Herstellung von:	IVU-relevante Anlagen	Verbrauch an Lösemitteln von ca. 50 – 280 kg / d	Verbrauch an Lösemitteln von ca. 0 – 50 kg / d
Lederwaren			+
Holzwerkstoffen			+
Möbel			+
Maschinenbau- und elektrotechnischen Produkten			+
PKW			+
LKW			+
Flugzeugen		+	
Busse		+	
Schienenfahrzeugen		+	
Schuhen		+	
PKW-Zulieferteilen			+
Klebebandherstellung	+		
Verpackung (Verbundfolie)	+		

Für Industriebereiche mit Anlagen, die eine Verbrauchskapazität von mehr als 150 kg / h oder 200 t / a aufweisen, wird im folgenden eine ausführliche Betrachtung der Produktionsprozesse vorgenommen und beste verfügbare Techniken identifiziert. Für Sektoren, deren Anlagen eine geringere Verbrauchskapazität aufweisen, wird der Stand der Technik beschrieben, und es werden alternative Verfahren zur Emissionsminderung der VOC aufgeführt, wenn in Europa Anlagen mit größeren Verbrauchskapazitäten zu erwarten sind. Sektoren mit Anlagen, die nur sehr geringe Mengen an Lösemittelklebstoffen verarbeiten, und denen auch zusätzlich keine Bedeutung im europäischen Ausland zukommt, werden nicht weiter betrachtet.

1.4 Fallstudien Klebstoffanwendung

Auf Grund der schwachen Dokumentation der Klebstoffanwendung in der Fachliteratur, stützt sich diese Untersuchung auf zahlreiche Fallstudien in den im Folgenden aufgelisteten Industrieunternehmen.

Tabelle 1-2: Untersuchte Unternehmen

Branche	Unternehmen	Ansprechpartner
Herstellung von Klebebändern	Astorplast Klebetechnik AG, Werk Alfdorf	Herr Gemünd, Herr Kreuter
	Tesa AG, Werk Hausbruch bei Hamburg	Herr Weißleder, Herr Dr. Röber
Papier- und Verpackung	CRYOVAC, Sealed Air Cooperation, Werk Flensburg	Herr Kahl, Herr Becker
	Bischof + Klein GmbH & Co. KG, Werk Lengerich	Frau Lütke-Lengerich, Herr Reinisch
Transport	Volkswagen AG, Werk Wolfsburg	Herr Dr. Mrowitz, Herr Dr. Gruber, Herr Stege
	AUDI AG, Werk Ingolstadt	Herr Dr. Achatz, Frau Kaulberg
	MAN AG, Werk Salzgitter	Herr Jurek
	Ford Werke, Saarlouis	Herr Dr. Buchem, Herr Dr. Clysters, Herr Meffert, Herr Gebert
	MAN AG, Werk München	Herr Golling, Herr Dr. Schmid
	EVO BUS, Werk Mannheim	Herr Janker, Herr Siener
	Daimlerchrysler, Werk Raststatt	Herr Höhner

Branche	Unternehmen	Ansprechpartner
Transport	LHB-ALSTOM, Werk Salzgitter	Herr Dr. Neutzler, Frau Ziems
	Hymer AG, Werk Grefrath	Herr Priebe
	Johnson Controls, Neustadt	Herr Koch
	Johnson Controls, Grefrath	Herr Dr. Prömper
Schuh- und Lederindustrie	Salamander, Werk Kornwestheim	Herr Raith
	RICOSTA, Werk Donaueschingen	Herr Allaut, Herr Kinzelmann
	Gabor, Werk Rosenheim	Herr Herberger
	Navajo Dr. Genger Schuhfabrik GmbH, Hinterweidentahl	Herr Farbacher
Holz- und Möbelindustrie	Schiedermöbel-Wohnmöbel GmbH & Co. KG, Werk Schieder	Herr Krain, Herr Schouwenaars
	ALNO AG, Werk Pfullendorf	Herr Fink
	Dunlop AG, Werk Hanau	Herr Dr. Wolfahrt

Quellenverzeichnis

[ENDLICH 1995]

ENDLICH W.: *Fertigungstechnik mit Kleb- und Dichtstoffen*, Vieweg-Verlag, 1995

[HABENICHT 1997]

HABENICHT, G.: *Kleben- Grundlagen, Anwendungen, Technologie*; Springer- Verlag, 1997

[HEßLAND 1997]

HEßLAND A. : Abfallvermeidung in der industriellen Klebetechnik, Fraunhofer Institut für Materialforschung, 1997:

[INDUSTRIEVERBAND KLEBSTOFFE 2000]

INDUSTRIEVERBAND DER KLEBSTOFFE E.V.: *Handbuch der Klebetechnik*, Vieweg Verlag, Wiesbaden, 2000

[INDUSTRIEVERBAND KLEBSTOFFE 2000]

INDUSTRIEVERBAND DER KLEBSTOFFE E.V.: Mündliche Mitteilungen, Van Halteren, 2001

[PICKER 2000]

PICKER A, VAN HALTEREN A.: *Handbuch der Klebetechnik*, Vieweg-Verlag Wiesbaden, 2000

[STACHOWIAK 1998]

STACHOWIAK E.: *Klebetechnik als Fügeverfahren*, 1998

2 Klebebandherstellung

Bei der Produktion von Klebebändern werden je nach Verfahren, die in der IVU-RL (Anhang I; Nr. 6.7) angeführten Mengenschwellen für die Verbrauchskapazität von organischen Lösemitteln um ein Vielfaches überschritten. In Teilbereichen des Sektors hat eine weitgehende Substitution von lösemittelhaltigen Klebstoffen stattgefunden. Bei Produkten, von denen dauerhaft hohe Kohäsions- und Adhäsionswerte gefordert werden, dominieren lösemittelbasierte Klebstoffsysteme, da alternative Produkte bisher kein gleichwertiges Eigenschaftsprofil aufweisen. Zur Emissionsminderung bzw. Rückgewinnung der Lösemittel werden dann nachgeschaltete Maßnahmen, wie z.B. Adsorptionsverfahren, eingesetzt. Die Produktion von Klebebändern wurde in zwei Unternehmen untersucht.

2.1 Allgemeine Informationen

1999 wurden in Deutschland 690 Mio. m² Klebebänder für die Verpackungs-, Fahrzeug-, Elektro-, Bau-, Möbel- und Papierindustrie und den sog. Do-it-yourself-Sektor, hergestellt [SBW 2000]. In der Automobilindustrie werden Klebebänder z.B. für die Befestigung von Teilen an Außenflächen von Karosserien, als Scheuerschutz, zum Abdichten von Öffnungen, zur Kabelbaumwicklung, zum Abdecken beim Lackieren (Masking) sowie als Montagehilfe verbaut. Entsprechend dem Einsatz werden unterschiedliche Ansprüche an die Produkteigenschaften wie Klebkraft, Temperaturbeständigkeit, mechanische Belastbarkeit und Zugfestigkeit gestellt [IKV 2000]. VOC-Emissionen resultieren bei der Herstellung von Klebebändern aus der Anwendung von lösemittelhaltigen Klebstoffen und der Applikation von lösmittelhaltigen Hilfsstoffen wie z.B. Trennmitteln und Primern [HENDEß 1998]. In Deutschland wurden 1995 bei der Herstellung von Klebebändern 15.560 t organische Lösemittel in Form von Klebstoffformulierungen eingesetzt. Die bei der Verarbeitung der Klebstoffe in der Klebebandherstellung freigesetzten VOC-Emissionen betrugen 1997 ca. 415 t/a. Die im Vergleich zur Einsatzmenge geringe Emissionsmenge, erklärt sich durch den Einsatz von Abluftreinigungsanlagen [BMU 1997].

2.2 Verwendete technische Prozesse und Verfahren

2.2.1 Aufbau von Klebebändern

Klebebänder bestehen aus Trägermaterial, Haftvermittler, Haftklebstoff und Trennmaterialien. Als Trägermaterialien werden vor allem Papier, Gewebe, PVC- Folien, Polyester, Polypropylen, Polyethylen, Polyamid und Aluminium verarbeitet. Aufgrund der vielfältigen Varianten von Produkten erscheint eine vereinfachte Unterteilung in Transferklebebänder (doppelseitige Klebebänder), Verpackungsklebebänder und Abdeckklebebänder zur Bestimmung der besten verfügbaren Techniken sinnvoll.

- Zur Herstellung von **einseitigen Klebebändern** wird ein Haftklebstoff auf ein Trägermaterial aufgetragen. Die Haftung der Klebstoffschicht auf dem Trägermaterial wird durch physikalische Vorbehandlung oder Auftrag von Primern verbessert.
- Bei der Herstellung von **doppelseitigem Klebeband** wird eine Haftklebstoffschicht auf beide Seiten des Trägermaterials aufgetragen (vgl. Abbildung 2-1). Um einen Klebstoff / Klebstoff-Kontakt zu vermeiden, wird ein Trennmaterial auf eine der Haftklebstoffschichten appliziert.

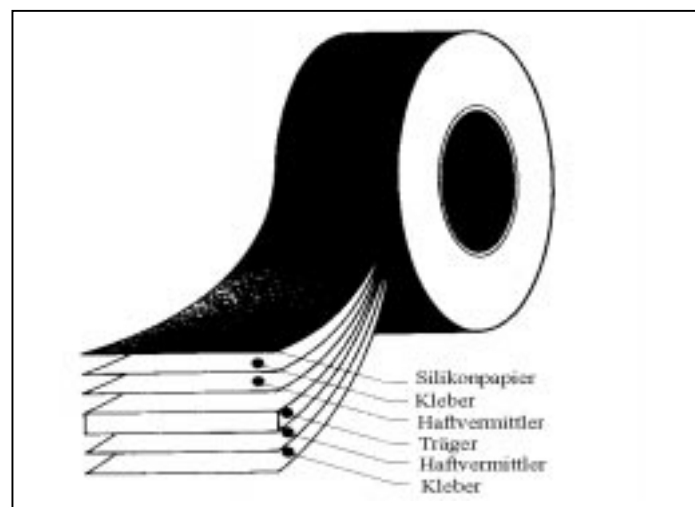


Abbildung 2-1: Aufbau von doppelseitigen Klebebändern

2.2.2 Einsatzstoffe für die Klebebandherstellung

Haftklebstoffe sind organische Verbindungen mit hoher Eigenfestigkeit, die gleichzeitig eine hohe Klebkraft zu verschiedenen Oberflächen aufweisen. Im Unterschied zu anderen

Klebstoffsystemen ist der plastische Klebstofffilm auch im trockenen Zustand klebeaktiv. Der Klebstoff weist ein viskoelastisches Verhalten auf und kann als Flüssigkeit, mit sehr hoher Viskosität, betrachtet werden [KREUTER 2001]. Eine Einteilung der Haftklebstoffe zeigt Tabelle 2-1 .

Tabelle 2-1: *Haftklebstoffe für die Klebebandherstellung*

Klebstoffart	Kautschukklebstoff	Acrylatklebstoff	Sonstige Haftklebstoffe
Dispersion in Wasser	Styrol-Butadien-Styrol-Blockcopolymer (SBS), SBR-Latex, carboxyliert (CSBR)	Reinacrylate, Polyacrylate	Polyvinylacetat, Acrylate, Ethylenvinylacetat (EVA)
Schmelzklebstoff	Styrol-Isopren-Styrol-Blockcopolymer (SIS), Butadien-Styrol-Copolymer (SBR), Styrol-Butadien-Styrol-Blockcopolymer (SBS)	Polyacrylate	keine Anwendung
Lösung in organischen Lösemitteln*	Naturkautschuk (NR), Butadien-Styrol-Copolymer (SBR), Styrol-Isopren-Styrol-Blockcopolymer (SIS)	Reinacrylate, Polyacrylate	Polyurethane, Polychloroprene
100 % Feststoffsysteme, strahlenhärtend oder als Zwei-Komponenten-System	Naturkautschuk (NR), Butadien-Styrol-Copolymer (SBR), Styrol-Isopren-Styrol-Blockcopolymer (SIS)	Reinacrylate, Polyacrylate	Polyurethane, Polyester, 2K-Polyurethane

* Lösemittelhaltig Klebstoffe sind kursiv hervorgehoben

Kautschukklebstoffe und Harze

Technisch verwendete Kautschuk-Haftklebstoffe sind v.a. Naturkautschuk (NR) und Synthesekautschuke wie Butadien-Styrol (SBR), Styrol-Isopren-Styrol (SIS) oder SBR-Latex (carboxyliert).

Zur Herstellung von **Naturkautschukformulierungen** wird Kautschuk mit Harzen, die als sog. Tackifier Kohäsion und Adhäsion beeinflussen und weiteren Zuschlagstoffen, z.B. Alterungsschutzmittel, in organischen Lösemitteln gelöst. Einsatzgebiete sind vor allem Pflaster, aber auch die Herstellung von doppelseitigen Klebebändern, Verpackungs- und Abdeckklebebändern [RÖBER, WIEßLEDER 2001].

Synthesekautschuke werden als Schmelzklebstoffe ohne Lösungsmittel appliziert. Bei der Herstellung werden Synthesekautschuk, Harz und weitere Zuschlagstoffe in der Schmelze, beispielsweise in kontinuierlich arbeitenden Extrudern, gemischt und dann als Schmelze beschichtet. Das thermoplastische Verhalten der Verbindungen ist reversibel [KREUTER 2001].

Acrylatklebstoffe

Vor allem für Langzeit- oder Außenanwendungen werden Klebebänder mit Acrylatklebstoffen beschichtet. Ferner dominieren Acrylatklebstoffe im Bereich der Montageanwendung durch ihre, im Vergleich zu den Kautschuken, höhere thermische und chemische Resistenz, sowie höhere Kohäsion. Die Klebstoffe werden als Dispersionen auf Wasserbasis und gelöst in organischen Lösemitteln (Benzin, Ethylacetat oder Toluol) oder als 100 % Feststoffsystem (als UV-vernetzende Verbindungen) appliziert [KREUTER 2001]. Innerhalb dieser Gruppe weisen lösemittelbasierte Klebstoffe die größten Kohäsionswerte auf [RÖBER, WEIßLEDER 2001].

Sonstige Haftklebstoffe

Für Spezialanwendungen werden auch thermoplastische Elastomere, Polyurethane, Polyacrylate sowie Silikone für die Klebebandherstellung verwendet [RÖBER 2001].

Hilfsstoffe

Haftvermittler ermöglichen ein störungsfreies Abwickeln und Wiederabziehen des Klebebandes durch eine Erhöhung der Adhäsion der Haftklebstoffe zum Trägermaterial. Gängige emissionsarme Verfahren für die Oberflächenbehandlung sind Corona-Entladungen, Flammvorbehandlungen und Niederdruck-Plasmavorbehandlungen. Die Haftvermittlung kann auch durch den Auftrag einer Primerschicht erfolgen. Die Primer werden als Lösungen in organischen Lösemitteln oder als wässrige Dispersion appliziert.

Trennmittel

Trennmittel sollen eine Adhäsion der Haftklebstoffe zur Klebebandoberseite verhindern. Für Acrylatklebstoffe und Synthesekautschuke werden Silikone als Trennmittel appliziert, bei Naturkautschuk-Klebmassen kommen zusätzlich auch stearylgruppenhaltige Systeme zur Anwendung. Die Trennmittel werden überwiegend als Lösung aufgetragen [HENDEß 1998]. Wässrige Systeme und 100%-Systeme stellen die Ausnahme dar [RÖBER, WEIßLEDER 2001].

Imprägniermittel

Imprägniermittel werden zur Veredelung von glatten, saugfähigen Papieren sowie zur Erhöhung der Nassfestigkeit und mechanischen Belastbarkeit appliziert. Dazu werden wässrige Polymerdispersionen auf Basis von SBR, Acrylat und in Sonderfällen auch Acrylat-Naturkautschuke verwendet.

Lösemittel

Lösemittel für die Herstellung von Haftklebmassen sind Aromate (v.a. Toluol), Aliphate und Siedegrenzbenzine sowie Gemische aus diesen Stoffen. Die Lösemittelgehalte in auftragsfertigen Klebstoffen betragen etwa 75 – 60 %. Teilweise kommen auch High-Solid-Systeme mit Feststoffgehalten von ca. 60 % zur Anwendung [KREUTER 2001].

2.2.2.1 Eigenschaften der Haftklebstoffe

Tabelle 2-2: *Eigenschaften der Haftklebstoffe* [KREUTER 2001]

Parameter	Dispersionen	Schmelzklebstoffe	UV-vernetzende Acrylate und elektronenstrahlhärtende Systeme	Lösemittelbasierte Klebstoffe
Lösemittel	Wasser als Träger, aufwendige Trocknung	Keine Lösemittel	Keine Lösemittel	Organische Lösemittel, aufwendige Lagerung und Trocknung, Abluftbehandlung, Explosionsschutz
Bahngeschwindigkeit	Bis ca. 250 m / min	Schnelle Vernetzung, Bahngeschwindigkeit bis 400 m / min	Sehr schnelle Vernetzung, hohe Bahngeschwindigkeit bis 450 m / min bei Elektrodenstrahlhärtung	Bis 250 m / min
Kohäsion / Adhäsion	Gute Kohäsion und Adhäsion	Hohe Kohäsion, geringe Adhäsion	Hohe Kohäsion und Adhäsion (< als bei lösemittelbasierten Klebstoffen)	Höchste Kohäsion (da Polymerketten am längsten) und Adhäsion
Vernetzung	Physikalische Vernetzung	Physikalische Vernetzung	Chemische Vernetzung	Chemische Vernetzung
Feststoffgehalt	50 – 70 %	100 %	100 %	20 – 35 %
Alterungsbeständigkeit	Alterungsstabil	Alterungsbeständigkeit und UV-Stabilität gering	Alterungsbeständig	Alterungsbeständig
Temperaturbeständigkeit	Temperaturbeständig	Niedrige Temperaturstabilität (50 – 100 °C)	Temperaturbeständig	Temperaturbeständig
Wasserfestigkeit	Begrenzt wasserfest	Wasserfest	Wasserfest	Wasserfest

Die wichtigsten Eigenschaften der in Deutschland am häufigsten verwendeten Haftklebstoffsysteme sind in Tabelle 2-2 zusammengefasst. Die besten Kohäsions- und Adhäsionseigenschaften werden von lösemittelbasierten Klebstoffen und strahlenhärtenden Verbindungen erreicht.

Für den Betrieb industrieller Anlagen zur Klebbandherstellung ist die maximale **Beschichtungsgeschwindigkeit** ein wichtiges Kriterium, das nicht nur von der Konstruktion der Beschichtungsanlage, sondern überwiegend auch von den angestrebten Massenaufträgen abhängt. Beispielsweise können Acrylatdispersionen bei nur 20 g/m² Massenauftrag (Feststoff) mit einer Bahngeschwindigkeit von mehr als 200 m/min beschichtet werden. Bei Massenaufträgen von 50 - 100 g/m² reduziert sich die Beschichtungsgeschwindigkeit auf etwa 10 m/min in Folge der Trocknungskapazität und der Trocknungskinetik (Verhinderung von Blasen in der Klebmasse).

2.2.2.2 Anwendungen von Haftklebstoffen

Die Auswahl des Klebstoffsystems richtet sich nach der technischen Anwendung der Klebebänder. Tabelle 2-3 gibt einen Überblick der verschiedenen Klebebandanwendungen und der dabei häufig eingesetzten Klebstoffe.

Tabelle 2-3: Anwendungsbereiche und Haftklebstoffe für Klebebänder [KREUTER 2001]

Einsatzbereich der Klebebänder	Anwendung	Haftklebstoff
Verpackung	Haftetiketten, Verpackungsklebebänder	SIS-Blockpolymere als Schmelzklebstoff, <i>lösemittelbasierte Naturkautschukklebstoffe (SB)</i> , 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	<i>Lösemittelbasierte Naturkautschukklebstoffe, Acrylsäureester und Acrylate</i>
Bauindustrie	Schaumstoffklebebänder zur Dichtung von Fenstern, zum Abdichten von Bau- und Dehnungsfugen, Teppichbodenklebebänder etc.	<i>Acrylatklebstoffe, auf Basis von Lösemitteln</i> oder als wässrige Dispersion
Medizin	Medizinische Tapes, Heftpflaster	<i>Reinacrylate, Polyacrylate</i>
Möbelindustrie	Transferklebebänder für Spiegel etc.	<i>Acrylatklebstoffe, lösemittelhaltig oder wässrig</i>

Lösemittelhaltige Klebstoffe sind kursiv hervorgehoben

In größten Mengen werden Verpackungsklebebänder, und Abdeckklebebänder (auch Montagehilfe) und doppelseitige Klebebänder (Transferklebebänder) produziert. (Von den in Europa hergestellten Klebebändern sind ca. 74 % Verpackungsklebebänder, und 10 % Abdeckklebebänder. Lösemittelbasierte Klebstoffe haben bei der europäischen Klebebandproduktion einen Anteil von 49 %, Schmelzklebstoffe von 33% und Dispersionen von ca. 18 % [LACOSTE 2001]. Tabelle 2-4 fasst die für diese Anwendungen eingesetzten Klebstoffsysteme zusammen.

Tabelle 2-4: *Haftklebstoffarten und deren Anwendung* [RÖBER, WEIßLEDER 2001, HENDEß 1998]

Lösemittel	Acrylat	Naturkautschuk	Synthesekautschuk
<i>Lösung in organischen Lösemitteln</i>	<i>Doppelseitige Klebebänder</i>	<i>Verpackungsklebebänder, Abdeckklebebänder</i>	<i>(unbedeutend)</i>
Dispersionen auf Wasserbasis	Doppelseitige Klebebänder und Verpackungsklebebänder	(in Entwicklung)	(unbedeutend)
100 % Feststoff, lösemittelfrei	Doppelseitige Klebebänder	(in Entwicklung)	Verpackungsklebebänder, Abdeckklebebänder, doppelseitige Klebebänder

Produktgruppen mit lösemittelhaltigen Klebstoffen sind kursiv hervorgehoben

2.2.3 Herstellung von Klebebändern

Der Herstellungsprozess kann in drei Hauptschritte unterteilt werden:

- Oberflächenbehandlung des Trägermaterials und Beschichtung von Klebstoff auf das bahnförmige Trägermaterial (vgl. Abbildung 2-3).
- Trocknen, Vernetzen bzw. Abkühlen (Schmelzklebstoff) des Haftklebstoffes
- Aufrollen, zuschneiden, konfektionieren etc.

Abbildung 2-2 zeigt den Herstellungsprozess von Klebebändern mit lösemittelbasierten Klebstoffen. Dabei wird die Abluft über Kondensation in der Vortrocknung und mit Adsorption an Aktivkohle in der Haupttrocknung gereinigt. Die Lösemittel werden über Dampfdesorption (vgl. Anhang 5) und Abscheidung wiedergewonnen.

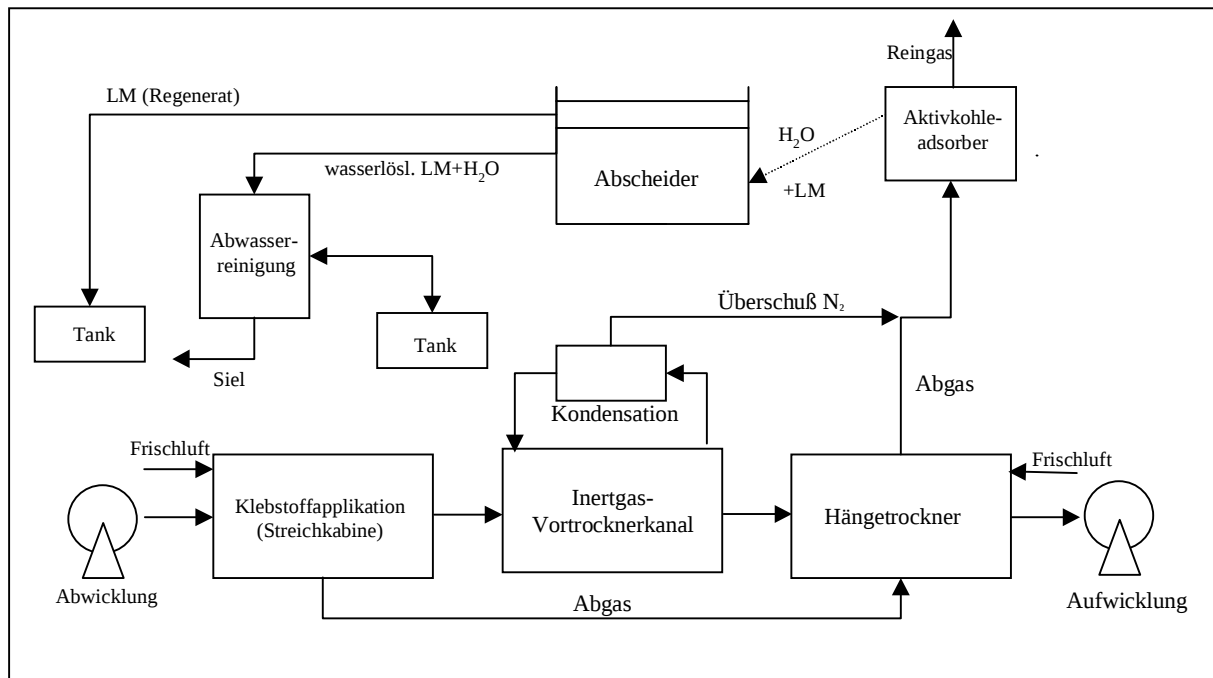


Abbildung 2-2: *Klebebandherstellung mit Lösemittelklebstoffen und Abluftreinigung*
[RÖBER, WEIßLEDER 2001]

Im folgenden wird auf die umweltrelevanten Produktionsschritte bei der Herstellung von Klebebändern eingegangen.

Klebstoffbeschichtung

Das Aufbringen eines Haftklebstoffes kann mit unterschiedlichen Auftragstechniken durchgeführt werden. Für die Verarbeitung von lösemittelbasierten Klebstoffen werden Rakel-, Accugravur- oder Reverse-Roll-Coat-Systeme eingesetzt. Für Dispersionsklebstoffe eignen sich Rakel-, Reverse-Roll-Coat- oder Rollrakelsysteme [KREUTER 2001]. Schmelzklebstoffe werden über Rakel-, Schlitzdüsen-Rakel-Systeme oder im Extrusionsverfahren appliziert. Vereinzelt werden auch Sprühverfahren angewendet. Overspray oder überschüssiges Material wird abgerakelt und wiederverwendet [HENDEß 1998]. 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 [KREUTER, RÖBER, WEIßLEDER 2001].

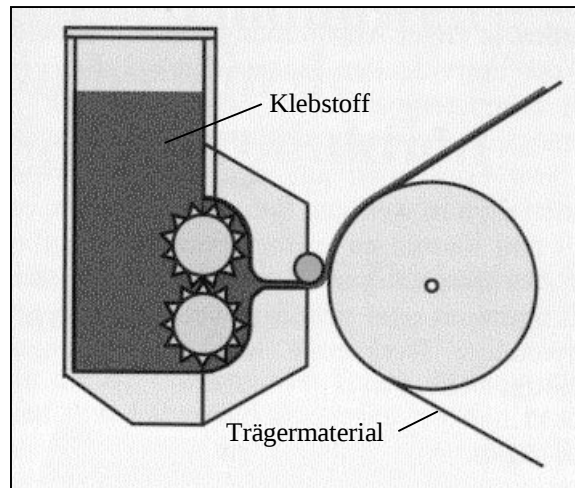


Abbildung 2-3: Applikation von Schmelzklebstoffen nach dem Rollrakelverfahren
[HENDEß 1998]

Trocknung

Es werden hauptsächlich Umlufttrockner, Infrarottrockner und Strahlungssysteme (UV- oder Elektronenbestrahlung nur zur Vernetzung) eingesetzt. Lösemittelhaltige 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.

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

- **Konvektionstrockner** werden bei Dispersionen und Lösemittelklebstoffen eingesetzt. Die Luft in diesen Umlufttrocknern wird mittels Gas, Dampf oder Heizöl aufgeheizt.

Neben dem reinen Abdunstungsvorgang von Wasser oder Lösemittel finden im Klebstoff Vernetzungsprozesse statt. Bei der Trocknung von wässrigen Dispersionen benötigen moderne Anlagen maximal 4000 kJ pro kg verdampftes Wasser (einschließlich Energieverlusten und Aufheizung des Substrates) [KREUTER 2000].

Bei der Trocknung von Lösemittelklebstoffen darf die Luft im Trockner eine festgelegte maximale Lösemittelkonzentration enthalten. Die Berechnung erfolgt nach EN 1539 und legt einen Grenzwert von 50 % der unteren Explosionsgrenze (UEG) des verwendeten Lösemittels oder 20 g/m³ bei 20 °C, falls diese nicht bekannt ist, fest. Eine Reduktion des

Lösemittelgehaltes in der Trocknerluft wird über den Luftdurchsatz gesteuert. Bei der Verwendung von gasdichten Inertgastrocknern ist eine Beladung von 1200 g pro m³ Stickstoff und mehr möglich. Die Beladung ist von den eingesetzten Lösemitteln und der Trocknungstemperatur abhängig [RÖBER, WEIßLEDER 2001].

- Bei **Infrarottrocknern** wird über Infrarotstrahlung das zu trocknende Medium erwärmt. Das emittierte Strahlungsspektrum muss auf das Adsorptionsspektrum des zu trocknenden Materials abgestimmt sein. Das Verfahren eignet sich für Dispersionen und unter Beachtung des Explosionsschutzes auch für lösemittelbasierte Klebstoffe.

Strahlenhärtung

- Bei der Herstellung von Klebebändern wird zunehmend die UV- und Elektronenstrahlhärtung eingesetzt. Aufgrund geringerer Investitionen dominiert die **UV-Strahlenhärtung**, die vor allem bei neueren Acrylathafschmelzklebstoffen zum Einsatz kommt. Das Verfahren lässt sich bei strahlenhärtenden Klebstoffen anwenden. Hierbei wird die abschließende Vernetzung durch die Verwendung von UV-Strahlen ausgelöst. Dazu werden Gasentladungslampen als Hoch- und Mitteldruck-Quecksilberdampflampen im Wellenlängenintervall von 180 – 300 nm eingesetzt. Das bei der Bestrahlung entstehende Ozon wird abgesaugt und bei Anwesenheit anderer flüchtiger Komponenten der TNV geführt. Die Anlage muss mit einem Schutz vor UV-Strahlung ausgestattet sein. Für die gängigen Klebstoffe liegt die Bestrahlungsdosis zwischen 100 bis 150 mJ / cm² [KREUTER 2001]. Die Vorteile des Verfahrens liegen in geringen Investitionen für die Anlage, dem geringen Platzbedarf, hoher Bahngeschwindigkeiten und der Möglichkeit bestehende Anlagen nachzurüsten [KREUTER 2001].

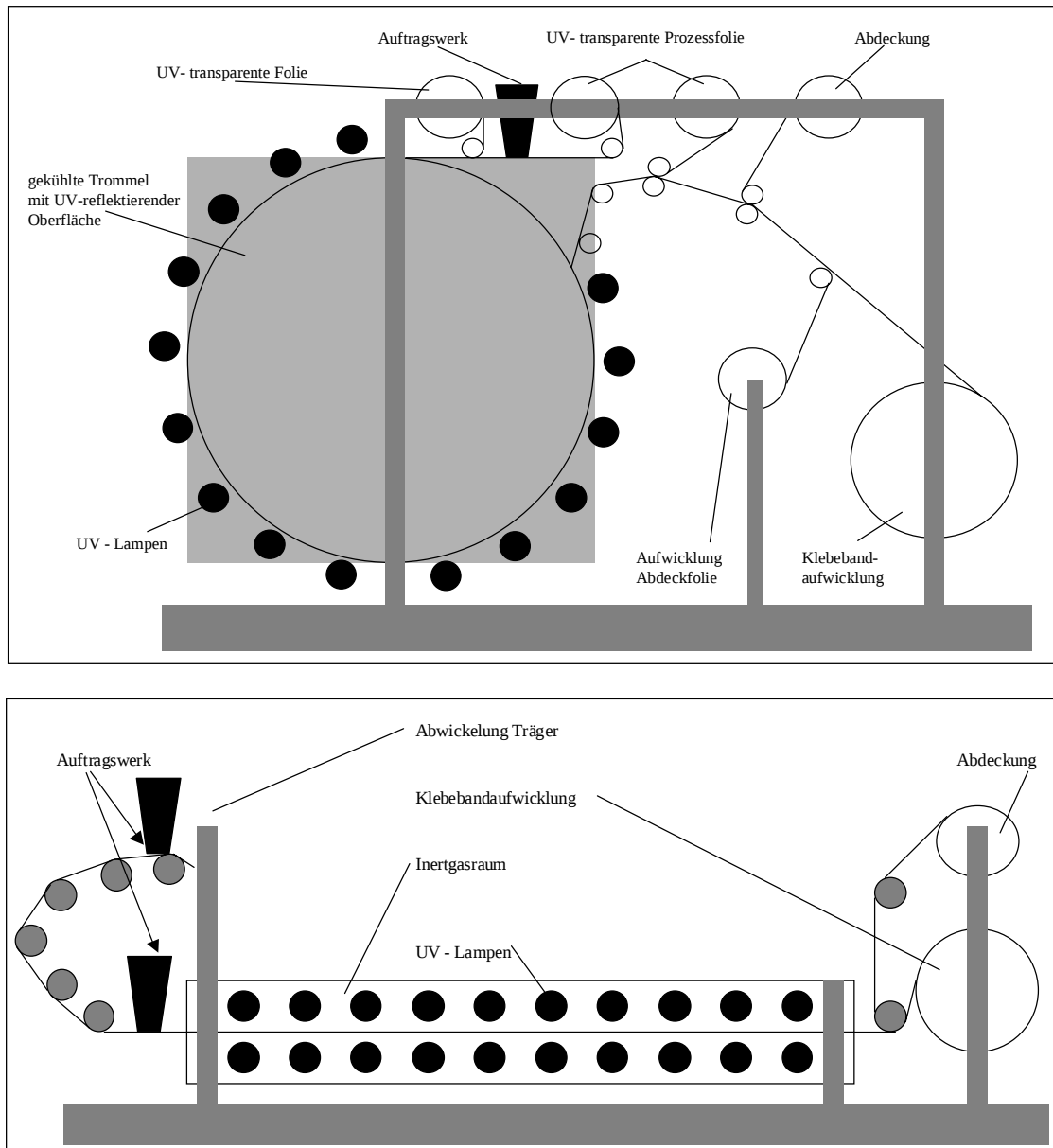


Abbildung 2-4: Produktionsanlage für die Herstellung von einseitigen - und doppelseitigen Klebebändern (unten) mit UV-vernetzenden Haftklebstoffen nach dem Transferverfahren [ASTORPLAST 1999]

- Bei der **Elektronenstrahlhärtung** wird das beschichtete Material mit Elektronenbeschleunigern bestrahlt. Die entstehende Strahlung von ca. 150 – 300 kV muss durch Bleiplatten oder Betonwände abgeschirmt werden. Die vom

Elektronenbeschleuniger emittierten Elektronen werden in der Klebstoffschicht abgebremst und geben dabei Energie ab und lösen dadurch die Vernetzungsreaktion aus. In Abhängigkeit von der Vernetzungsdichte können Bahngeschwindigkeiten von bis zu 600 m/min erreicht werden. Die Vernetzung mittels beschleunigter Elektronen bietet den Vorteil, dass eine von der Schichtstärke unabhängige Vernetzung erreicht werden kann und dass hiermit auch nicht transparente Klebmassen (z.B. mit größerem Anteil an Füllstoffen) zuverlässig vernetzt werden können. Nachteile der Elektronenstrahlhärtung sind, im Vergleich zur UV-Vernetzung, die möglichen Eigenschaftsveränderungen der Substrate [KREUTER 2001].

Behandlung der bei der Trocknung von Lösemittelklebstoffen freigesetzten VOC

Trocknung mit Lösemittelrückgewinnung durch Kondensation:

Beim Betrieb des Konvektionstrockners als Inertgastrockner können große Mengen an Lösemitteln verdampft und zurückgewonnen werden. Für eine Lösemittelmenge von 400 kg/h wird bei der Inertgastrocknung ein Gasvolumen von 2.000 m³ umgewälzt, während bei Lufttrocknung zur Einhaltung der 40 % UEG max. 20.000 m³/h notwendig sind (also bis zum zehnfachen des Gasvolumens eines konventionellen Lufttrockners) [RÖBER, WEIßLEDER 2001]. Die dadurch erreichte Konzentration an VOC kann wirtschaftlich zurückgewonnen werden.

In der Rückgewinnung wird das Gas-Lösemittelgemisch durch ein Kühlsystem soweit abgekühlt (5 bis – 30°C), bis der Taupunkt des Lösemittels unterschritten wird. Der kondensierte Lösemitteldampf wird in Tanks abgeführt und das abgetrocknete Gas wird wieder erwärmt und kontinuierlich zum Trocknereintritt zurückgeleitet. Die zurückgewonnenen Lösemittel können erneut dem Prozess zur Klebmassenherstellung zugeführt werden [RÖBER, WEIßLEDER 2001]. Das Verfahren wird z. B. in der Vortrocknung eingesetzt (vgl. Anhang IV, Teilband Lackanwendung).

Trocknung mit Rückgewinnung der Lösemittel über Sorption an Aktivkohle:

Das VOC-beladene Abgas strömt durch Adsorber, die sind im allgemeinen als mehrere parallel geschaltete, mit Aktivkohle befüllte Tanks ausgeführt sind (vgl. Anhang IV, Teilband Lackanwendung). Bei Sättigung eines Adsorbers wird die mit VOC-beladene Abluft auf den nächsten Adsorber umgeleitet, damit im gesättigten Tank die Aufnahmefähigkeit des Adsorptionsmittels durch Regeneration wiederhergestellt werden kann. Dabei werden die adsorbierten VOC durch Temperaturerhöhung über Dampfzufuhr desorbiert, und das

entstehende Wasser-Lösemittelgemisch wird kondensiert und bei über Phasentrennung oder Destillation separiert [RÖBER, WEIßLEDER 2001]. Das Verfahren ermöglicht VOC-Konzentrationen im Reingas unterhalb von 100 mg/m³ und erfüllt damit die Anforderungen der TA-Luft für Anlagen mit Lösemittelrückgewinnung. In der aktuellen Betriebsweise werden Reingaskonzentrationen von 70 – 90 mg/m³ erreicht. Die bei der Desorption zurückgewonnenen Lösemittel können dem Herstellungsprozess, insbesondere der Herstellung der lösemittelbasierten Klebmassen, erneut zugeführt werden. Pro t Lösemittel-Desorbat werden ca. 2-3 t Dampf für eine Reingaskonzentration von 70 – 90 mg/m³ benötigt [RÖBER, WEIßLEDER 2001]. Geringere Reingaskonzentrationen lassen sich durch eine Verkürzung der Adsorptionsphasen und damit unter erhöhtem Dampfverbrauch erreichen.

2.3 Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte

In Großanlagen der Klebebandherstellung werden z.T. mehr als 2000 t/a Lösemittelklebstoffe verarbeitet. Durch den Einsatz von Abgasreinigungsverfahren, wie z.B. dem Kondensationsverfahren in der Vortrocknung und Adsorption an Aktivkohle in der Haupttrocknung werden die geforderten Grenzwerte der 31. BImSchV in den Anlagen zur Klebebandherstellung deutlich unterschritten (vgl. Tabelle 2-5).

Tabelle 2-5: Grenzwerte für diffuse und unbehandelte Emissionen nach 31. BImSchV

Lösemittelverbrauch [t / a]	Grenzwert für diffuse Emissionen bei neuanlagen [% eingesetzter Lösemittel]	Emissions- grenzwert [mg C/m ³]	Anmerkung
> 15	20	50 100 ⁽¹⁾	Bei automatisierter Beschichtung bahnförmiger Materialien

⁽¹⁾ Bei Verwendung von Techniken zur Rückgewinnung von Lösemitteln, bei Anwendung einer thermischen Abgasreinigung 20 mg C/m³

Die Klebebandherstellung mit lösemittelbasierten Klebstoffen wurde bei der Beiersdorf AG, Hamburg im Werk Hausbruch untersucht (**Fallstudie s.h. Anhang, Teilband Klebstoffverarbeitung**). Der Lösemiteleinsatz in der untersuchten Anlage betrug 1999 2350 t. Emissionen an VOC entstehen bei der Verwendung von Lösemittelklebstoffen in den folgenden Bereichen:

-
- Restlösemittel im fertigen Klebeband:

Die Restlösemittelgehalte von fertigen, doppelseitigen Klebebändern auf der Basis von Lösemittelklebstoffen betragen zwischen 0,1 % und 2 % bezogen auf die eingesetzte Lösemittelmenge. Die in den Produkten vorhandenen Restlösemittel werden über Diffusionsprozesse langsam freigesetzt, oder verbleiben in der Klebstoffschicht als Weichmacher [RÖBER, WEIßLEDER 2001].

- Auftrag
- Trocknung
- Mischung der Inhaltstoffe zur gebrauchsfertigen Klebemasse
- Maschinenreinigung (Auftragswerke)
- Abwasser bei Adsorptionsverfahren
- Klebstoffabfälle

Von der eingesetzten Lösemittelmasse werden ca. 0,85 % emittiert, 5,8 % verbleiben im aufgetragenen Klebstoff, Abfall (Klebmassen und Klebebandreste) und Abwasser und werden stofflich und/oder thermisch verwertet. D.h. 93,35 % der eingesetzten Lösemittel werden zurückgewonnen. Das zurückgewonnene Lösemittel wird zum größten Teil erneut im Produktionsprozess eingesetzt. Restmengen, die aus Qualitätsgründen nicht wieder eingesetzt werden können, werden als Regeneratlösemittel zur stofflichen Verwertung verkauft. Wasserlösliche Lösemittel, die vor Einleitung in das Abwassersiel aus dem Abwasser der Adsorptionsanlagen (z.B. durch Rektifikation) entfernt werden müssen, lassen sich zu Heizzwecken verwenden oder werden stofflich durch Destillation verwertet [8].

2.4 Ermittlung der BVT- Kandidaten

In Bezug auf Lösemittlemissionen und Energiebedarf zeichnen sich Dispersionen, UV-vernetzende Klebstoffe und Schmelzklebstoffe positiv gegenüber lösemittelbasierten Klebstoffen aus, da bei diesen Systemen eine energieaufwendige Abluftreinigung nicht oder nur in geringem Umfang notwendig ist.

Schmelzklebstoffe weisen eine schlechte Alterungsbeständigkeit und geringe UV-Stabilität, sowie ein thermoplastisches Verhalten und hohe Adhäsion bei geringer Kohäsion auf. Aus diesen Gründen ist dieses Klebstoffsystem geeignet für Abdeckklebebänder und Verpackungsklebebänder des unteren Leistungsspektrums. Wässrige Dispersionen weisen besserer Kohäsionswerte auf sind aber u.a. nur sehr begrenzt wasserfest. UV-vernetzende Acrylate und elektronenstrahlhärtende Systeme weisen nicht die Nachteile der Schmelzklebstoffe und Dispersionen auf und zeichnen sich durch hohe Kohäsions- und Adhäsion aus. Diese Systeme lassen sich bisher aber nicht für alle Produkte einsetzen, da die mit diesen Klebstoffen erreichbaren Kohäsions- und Adhäsionswerte, auf Grund kürzerer Polymerketten, nicht die der lösemittelbasierten Klebstoffe erreichen. Für sehr dauerhafte oder mechanisch oder thermisch hochbeanspruchte Klebeverbindungen existieren daher noch keine Alternativen zu den lösemittelbasierten Acrylat- und Kautschukklebmassen. Bei der Verwendung von lösemittelbasierten Klebstoffen, lassen sich durch Abluftbehandlungsmaßnahmen, wie z.B. durch Kombination von Kondensation (als Vorabscheidung) und Adsorption, VOC-Emissionen wirkungsvoll verhindern.

2.5 Vorschlag der besten verfügbaren Technik

Klebebänder werden für sehr unterschiedliche 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. 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 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.

2.6 Neue fortschrittliche Verfahren

UV-härtende Haftklebstoffe und Dispersionen auf Kautschukbasis, für stark beanspruchte Klebeverbindungen, befinden sich derzeit in der Entwicklung [RÖBER, WEIßLEDER 2001].

2.7 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

In großen Teilbereichen des Sektors hat bereits eine weitgehende Substitution lösemittelhaltiger Klebstoffe eingesetzt. In einigen Bereichen ist die Vermeidung von lösemittelhaltigen Klebstoffen, auf Grund der spezifischen Eigenschaften derzeit nicht möglich. Da noch keine lösemittelfreien Produkte mit gleichwertigen Eigenschaften verfügbar sind, werden zur Reduktion der VOC-Emissionen und der Rückgewinnung von Lösemitteln, dem Herstellungsprozess nachgeschaltete Techniken eingesetzt. Es ist zu erwarten, dass durch die fortschreitende Entwicklung von UV-vernetzenden Klebstoffen oder Dispersionen der Anteil der Lösemittelklebstoffe weiter abnimmt.

Quellenverzeichnis

[ADHÄSION 2000]

Adhäsion, kleben und dichten, Industrieverband Klebstoffe e.V.: *Handbuch der Klebetechnik 2000 / 2001*, Friederich Vieweg und Sohn Verlagsgesellschaft, Wiesbaden, 2000

[ASTORPLAST 1999]

ASTORPLAST KLEBETECHNIK AG: Haftklebstoffe und Haftklebebänder: *Entwicklungsstand, Anwendung und Prüfung*, 1999

[HENDEß 1998]

HENDEß R.: Beiersdorf AG, Bibliothek der Technik 169: *Klebebandanwendungen in der Automobilindustrie, Funktion, Herstellung und Verarbeitung*, 1998

[BMU 1997]

BMU: *Gemeinsamer Abschlußbericht zum Dialog des BMU und des VCI zu Umweltzielen am Beispiel VOC*, 1997

[IVK 2000]

IVK: Industrieverband Klebstoffe e.V.: <http://www.klebstoffe.com>, November 2000

[KREUTER 2001]

Kreuter, Astorplast GmbH, Alfdorf, *persönliche Mitteilungen*, April 2001

[LACOSTE 2001]

Lacoste, O.: Exxon Mobil Chemicals: *Pressure Sensitive Tape and Label Production in Europe*, 2001

[RÖBER, WEIßLEDER 2001]

Röber, Weißleder, tesa AG, Hamburg: *Persönliche Mitteilungen*, Mai 2001

[SBW 2000]

SBW: Statistisches Bundesamt Wiesbaden: *Produktionsstatistik 1997- 1999 für Klebebänder und Verbundfolien*, 2000

3 Papier- und Verpackungsindustrie

In der Papier- und Verpackungsindustrie werden Dispersionsklebstoffe mit einem Anteil von 50 %, Schmelzklebstoffe mit einem Anteil von 23 % und Klebstoffe auf Basis natürlicher Polymere mit 21 % am Gesamtverbrauch, verarbeitet. Lösemittelhaltige Klebstoffe werden in der Papier- und Verpackungsindustrie mit einem Anteil von 6 % am Gesamtverbrauch eingesetzt [BMU 1997]. Nach übereinstimmenden Aussagen der befragten Experten und Hersteller werden lösemittelhaltige Klebstoffe ausschließlich in der Verbundfolienherstellung verarbeitet [HVP 2000, FKN 2000]. Somit wird im Folgenden nur auf diesen Bereich eingegangen.

3.1 Herstellung von Verbundfolien

3.1.1 Allgemeine Informationen

Bei der Produktion von Verbundfolien werden in Abhängigkeit des angewendeten Verfahrens, die in der IVU-RL (Anhang I, Nr. 6.7) angeführten Mengenschwellen für die Verbrauchskapazität von organischen Lösemitteln um ein Vielfaches überschritten. Bei der Verbundfolienkaschierung wird aus zwei oder mehreren Folien ein Verbundmaterial erzeugt, das z.B. zu Verpackungen weiterverarbeitet wird. Durch den Aufbau von Verbundfolien gelingt die Kombination der verschiedenen Eigenschaften der Einzelmaterialien zu einem Eigenschaftsprofil, das an den jeweiligen Verwendungszweck angepasst ist. Die einzelnen Folien haben dabei verschiedene Anforderungen zu erfüllen, wie z.B. Bedruckbarkeit, Aroma-, Feuchtigkeitssperre oder mechanische Belastbarkeit. Verbundfolien werden zur Herstellung von Lebensmittelverpackungen als sog. flexible Verpackung (z.B. Snack-Food-Verpackungen), Tiernahrungsverpackungen, Verpackungen für Chemische Produkte (z.B. Pestizide, Dünger, Waschmittel), Verpackungen für Metallwaren (z.B. Ersatzteile, Stanz- und Pressteile), Verpackungen für medizinische und pharmazeutische Produkte (z.B. Tabletten, Vitaminpulver), Verpackungen für Erden (z.B. Baustoffe, Substrate) und Hygieneartikel verarbeitet [WIEGEL 2001]. Im Bezug auf die Klebstoffanwendung bestehen große Unterschiede zwischen Konsum- und Industrieverpackungen.

Als Industrieverpackungen werden Verpackungen (Säcke, Beutel etc.) für mehr als 25 kg Füllgut bezeichnet. Industrieverpackungen bestehen meist aus Monomaterialien oder die unterschiedlichen Materialien sind nur im Naht- oder Randbereich punktuell verklebt [RHEINISCH 2001]. Vollflächig verklebte Materialien werden fast ausschließlich für die

Produktion von Verbundfolien hergestellt. 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 wird im Folgenden nur auf die Herstellung von Konsumverpackungen eingegangen.

1999 wurden in Deutschland 330.400 t Mehrschichtfolien im Wert von 1.111 Mio. EUR hergestellt [IKV 2000]. Mit der Herstellung von Kunststofffolien waren im Jahr 1999 536 Betriebe mit 72.952 Mitarbeitern beschäftigt [STATISTISCHES BUNDESAMT 1999]. In der Produktion von Verbundfolien hat eine starke Zunahme an lösemittelfreien Klebstoffen stattgefunden. Während 1975 ausschließlich lösemittelhaltige Klebstoffe zur Kaschierung verwendet wurden, betrug der Anteil lösemittelfreier Produkte 1999 bereits 40 % [HENKE 2000]. Die in Deutschland 1999 für die Herstellung von Verbundfolien verarbeitete Gesamtklebstoffmenge beträgt etwa 5.000-10.000 t [FRICKE 2000].

Die Herstellung von Verbundfolien wurde in zwei Unternehmen untersucht.

3.1.2 Verwendete technische Prozesse und Verfahren

Zur Fertigung von Verbundfolien werden Koextrusions-, Extrusionsbeschichtungs- und Kaschierverfahren eingesetzt. In Bezug auf Klebstoffanwendungen ist das Kaschieren relevant. Als Kaschieren, wird das dauerhafte und vollflächige Zusammenfügen von zwei oder mehreren flächigen Materialien zu einem Verbund, bezeichnet [VDI 2000].

3.1.2.1 Verwendete Verbundmaterialien für die Folienkaschierung

Für die Herstellung von Verbundfolien werden insgesamt ca. 60 – 70 verschiedene Folienmaterialien verwendet. Die Auswahl der Einzelfolien und des Klebstoffsystems für die Herstellung von Verbundfolienverpackungen wird von dem zu verpackenden Füllgut, der Verpackungsmaschine und den spezifischen Anforderungen bestimmt [SCHMID 1997].

So gilt die Empfindlichkeit des Füllgutes gegenüber Licht, Sauerstoff, Feuchtigkeit, Aromaverlust gibt vor, welche Sperreigenschaften der Verbund aufweisen muss. Die gewünschte Haltbarkeitsdauer bestimmt die Güte des benötigten Schutzes. Bei Lebensmittelverpackungen wird die Verpackung häufig mit Schutzgasen gefüllt, um die Lebensmittel besser vor Verderb und Oxidation, zu schützen. Dabei muss die Folie während der Haltbarkeitsdauer des Produktes diffusionsdicht sein, um die künstliche Atmosphäre innerhalb der Verpackung zu erhalten. Chemisch aggressive Bestandteile des Füllmaterials,

wie Öle, Fette, Alkohole, entscheiden über die notwendige Beständigkeit des Materials gegenüber diesen Substanzen.

Die Verpackungsmaschine gibt weitere Anforderungen an den Verbund vor. Entscheidende Faktoren für die Verarbeitbarkeit des Materiales sind z.B. mechanische Stabilität, Gleiteigenschaften oder Planlage. Dabei kommt der Siegelschicht eine große Bedeutung zu, da diese durch ihre Eigenschaften die Verarbeitungsgeschwindigkeit der Folie bestimmt.

Je nach dem Verwendungszweck der Folie ergeben sich zusätzliche Anforderungen, wie z.B. Durchstichbeständigkeit, Reißfestigkeit, Knick- und Bruchbeständigkeit, Temperaturbeständigkeit (Pasteurisieren, Kochen, Sterilisieren), Bedruckbarkeit und mechanische Stabilität.

Die Kaschierkleber müssen unterschiedliche Anforderungen erfüllen. Bei einer Auswahl zur Herstellung von Verbunden für Lebensmittelverpackungen sind z.B. physiologische Unbedenklichkeit, Maschinengängigkeit, Anfangs- und Endhaftung, Benetzung sowie Vernetzungsgeschwindigkeit entscheidende Parameter. Daneben wird die Klebstoffauswahl auch durch Anforderungen an das fertige Verpackungsmaterial beeinflusst. Diese Anforderungen sind z.B. Verhalten beim Abpackprozess, mechanische Eigenschaften der Verpackung, Barriere- und Füllgutbeständigkeit, Geruchs-, Geschmacksneutralität und Hitzebeständigkeit [VOSS 1993]. Bei bedruckten Folien muss auf eine Verträglichkeit von Klebstoffsystem und Druckfarbe geachtet werden, da Klebstoff und Druckfarbe oftmals in direktem Kontakt stehen. Für hohe Verbundwerte muss eine gute Durchdringung der Druckfarben durch den Klebstoff gegeben sein.

Verbundfolien lassen sich in Kunststoff- und Aluminiumfolien unterteilen. Für Kunststofffolien werden z. B. Polyethylen, Polypropylen, Polyester, Polyamid und Ethylenvinylalkohol verarbeitet. Die Folien können, um bestimmte Eigenschaften zu erreichen, mono- oder biaxial gereckt oder metallisiert sein.

Als Verbundmaterialien für Aluminiumfolien kommen Kunststofffolien, Cellophan, Papier, Pappe oder eine Kombination der Materialien zur Anwendung. Aluminium dient als Barriere gegenüber Gasen, Wasserdampf, Aromen und Licht.

3.1.2.2 Kaschierverfahren

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

Beim Trockenkaschierverfahren wird der Klebstoff vor dem Fügen der Materialien getrocknet (vgl. Abbildung 3-1). Bei der Nasskaschierung werden die Materialien direkt nach Klebstoffapplikation gefügt. Bei beiden Varianten werden zunehmend lösemittelfreie 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.

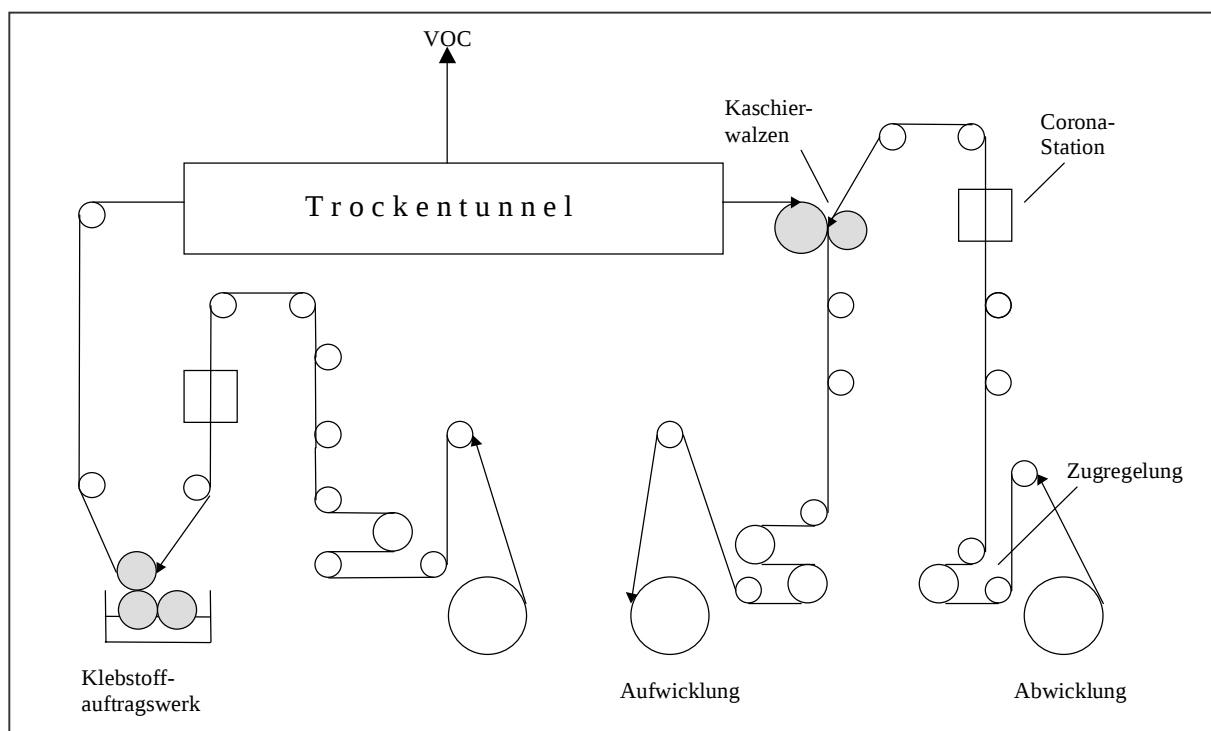


Abbildung 3-1: Trockenkaschierverfahren mit lösemittelhaltigen Klebstoffen

Bei der Trockenkaschierung wird der Klebstoff auf eine Trägerbahn aufgetragen und anschließend getrocknet (vgl. Abbildung 3-1). 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 lösemittelhaltigen Klebstoffen, z.B. bei Kaschierung von Papier und metallisierter Folie, werden üblicherweise Auftragsmengen von 2,5 g/m² bis 4,5 g/m² appliziert [REIHENISCH 2001]. 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.

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

Bei der Nasskaschierung werden wässrige Dispersionsklebstoffe auf Basis von Dextrin, Kasein oder lösemittelbasierte Klebstoffe appliziert. Kaschiert werden Aluminiumfolien und Papierträger. Beim Kaschiervorgang wird die Papierträgerbahn mit dem Klebstoff beschichtet. Das Wasser wird auf Grund der Porosität des Trägermaterials aufgenommen. Auf die klebstoffbeschichtete Bahn wird die Aluminiumfolie aufgetragen (Abbildung 3-2). Nach der Nasskaschiermethode werden Zigaretten-, Tee-, Kaugummi- und Seifen-Umverpackungen gefertigt [VDI 2000].

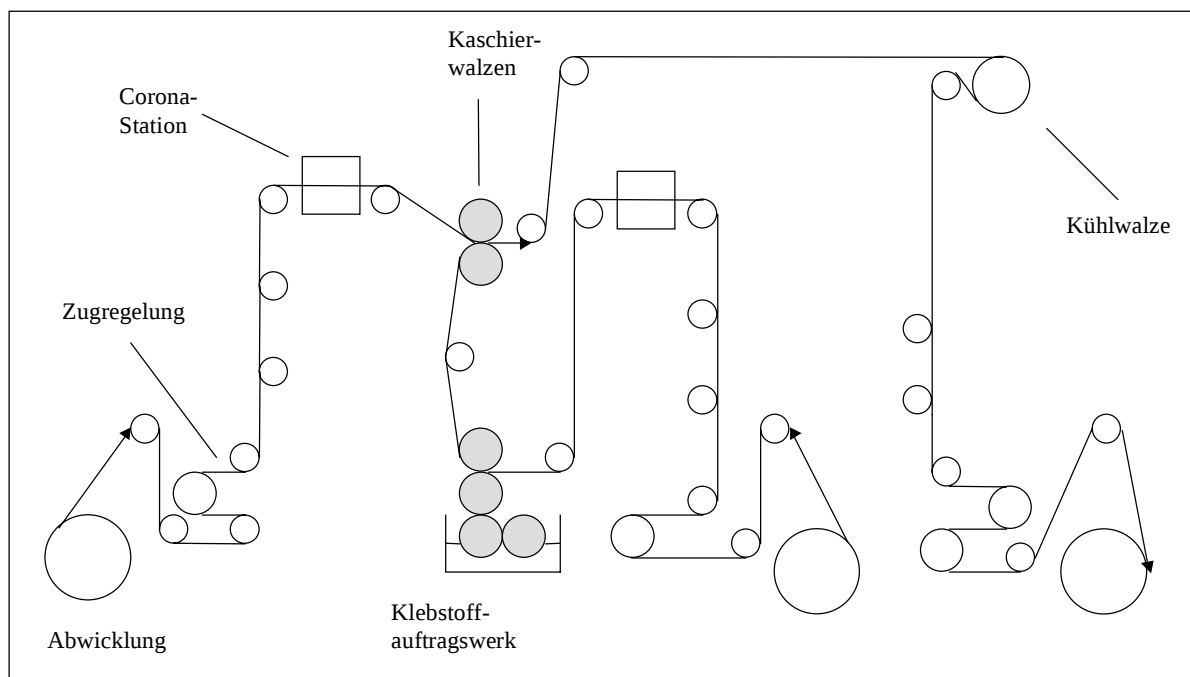


Abbildung 3-2: Lösemittelfreie Nasskaschierung

Bei der Nasskaschierung mit lösemittelfreien Klebstoffen werden üblicherweise Mengen von 1- bis 2 g/m² erreicht [REIHNISCH 2001]. Bei einem Verbund mit Papier kann auf Grund der Saugfähigkeit des Materials, die applizierte Menge größer sein.

Bei der lösemittelfreien Kaschierung treten geringe Verbundhaftungen in der Anfangsphase auf. Das führt zusammen mit den geringeren Klebstoff-Auftragsgewichten zu Problemen bei der Kaschierung von bedruckten Folien. Vor allem vollflächig bedruckte oder im Druck-Konterdruck beschichtete Folien oder andere Unebenheiten, die aus der Überdruckung von mehreren Farben stammen, können bei der Verwendung von lösemittelfreien Klebstoffen zu Blasenbildung und Delamination führen. Druckfarben mit Lösemitteln müssen außerdem vollständig ausgehärtet sein, bevor Klebstoffe aufgebracht werden [SCHMID 1999].

3.1.2.3 Vorbehandlung vor dem Kaschieren

Die meisten Polyethylen-, Polyester- und Polypropylen-Polyolefin-Folien weisen eine unpolare, elektrisch gut isolierende und wasserabstoßende Oberfläche auf. Diese Oberfläche ist schlecht benetzbar und bedarf vor dem Beschichten mit Klebstoffen und Druckfarbe einer Vorbehandlung durch Corona- oder Flammvorbehandlung oder Plasmabehandlung (zur Vermeidung von Delaminationen nach dem Verkleben). Die Vorbehandlung ist abhängig vom Substrat. Die Verfahren arbeiten lösemittelfrei.

3.1.2.4 Druckverfahren¹

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 lösemittelhaltigen Klebstoffen und lösemittelhaltigen Druckfarben z.T. 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 [KAHL, WIEGEL 2001]. Zum Reinigen der Kaschierwalzen und der Druckwerke werden Lösemittel (Ethanol, Acetate) verwendet. Eine Aufteilung der verarbeiteten Mengen an Reinigungslösemitteln für Druckwerke und Kaschieranlagen ist im allgemeinen aber nicht möglich [KAHL 2001].

¹ Nähere Angaben zu Druckverfahren finden sich im Teilband „Integrierter Umweltschutz bei bestimmten industriellen Tätigkeiten- Anlagen zum Imprägnieren, Appretieren, Bedrucken, Beschichten, Tränken“

Die Anteile der Druckverfahren für die flexible Verpackung betrugen 1999 für den Offsetdruck (16 %), Tiefdruck (50 %) und Flexodruck (34 %) in Deutschland [WALMAN 1999]. Für die Herstellung von Verbunden für Konsumverpackungen werden mehrere hundert verschiedene Farben eingesetzt [RHEINISCH 2001]. Für den Verpackungsdruck im Bereich der Verbundfolien werden vor allem Nitrocellulose-Farben (NC) und zum Teil auch Polyvinylbutyral (PVB) und Polyvinylchlorid (PVC) eingesetzt. Die Druckfarben bestehen üblicherweise aus etwa 65 – 80 % Lösemittel, 20 % Pigmentbindern und 12 – 16 % Pigmenten. Als organische Lösemittel kommen Alkohole, Ester und Ketone zum Einsatz [MEYER-ROSCHE 1999]. Teilweise werden auch wasserbasierte Druckfarben verarbeitet.

Einzelne Folien werden zusätzlich mit Siegelschichten beschichtet. Die früher dafür verwendeten lösemittelhaltigen Produkte sind heute bei Neuanlagen, durch Dispersionen ersetzt [NETWIG 2000]. Bei der Verwendung lösemittelhaltiger Farben wird der Trockner i.a. mit Unterdruck betrieben und das Abgas einer Abluftbehandlung zugeführt. Die Behandlung der Abgase kann durch thermische oder katalytische Verbrennung oder durch Biofiltration erfolgen (Vgl. Anhang V, Teilband Lackanwendung) [VDI 2587]².

3.1.2.5 Klebstoffe für Kaschierverfahren

Kaschierklebstoffe werden meist in flüssiger Form appliziert. Bei der Herstellung von Verbundfolien wurden bis vor wenigen Jahren überwiegend lösemittelhaltige Klebstoffe appliziert. Heute sind diese Verbindungen bei der Herstellung von Massenverbunden bereits weitgehend durch lösemittelfreie Systeme ersetzt worden.

Die Bindemittel liegen dabei gelöst in einem organischen Lösungsmittel oder dispergiert in Wasser vor. Neuere Entwicklungen bei lösemittelhaltigen Klebstoffen sind High-Solid-Systeme, bei denen der Feststoffanteil größer als 60 % ist [NETWIG 2000].

Die für die Herstellung von Verbundfolien eingesetzten Klebstoffe werden in der Branche nach ihren Leistungsbereichen wie folgt unterteilt [VDI 2000]:

General Purpose Klebstoffe

General Purpose Klebstoffe werden für die Kaschierung von transparenten und metallisierten Substraten für die Herstellung von Verpackungen für trockene Füllgütern, die chemisch nicht aggressiv sind, verwendet.

² Durch thermische oder katalytische Abgasreinigung werden je nach Verfahren Reingaswerte von 10 – 20 mg C/m³ erreicht. Nähere Angaben finden sich in [VDI 2587].

Medium Performance Klebstoffe, Multipurpose Klebstoffe

Medium Performance Klebstoffe werden für die Kaschierung von Substraten verarbeitet, die zur Herstellung von Verpackungen für pastöse oder flüssige Füllgüter dienen und fettig oder leicht chemisch aggressiv sind. Durch die Entwicklung von Klebstoffen, auf der Basis von Polyether- oder Polyester-Polyurethanen ist es möglich, die Klebstoffe für eine Vielzahl von Substraten zu verbinden (multipurpose).

High Performance Klebstoffe

High Performance Klebstoffe werden für die Kaschierung von Substraten eingesetzt, an die hohe Anforderungen an die Produkthaltbarkeit und Verbundhaltbarkeit gestellt werden. Die verwendeten Klebstoffe müssen eine Migration der flüssiger oder chemisch aggressiver Füllgüter verhindern, oder den geforderten Sterilisationsbedingungen standhalten sowie eine gute Haftung zum Aluminium aufweisen. Zur Sterilisation werden die Materialien Temperaturen bis 139 °C ausgesetzt. Diese Klebstoffe finden daher neben der Herstellung von Konsumverpackungen auch für die Herstellung von Verbundfolien für medizinische Produkte Anwendung. Wie in der Abbildung 3-3 dargestellt, hat bei den General Purpose Klebstoffen die größte Verschiebung zu lösemittelfreien Systemen stattgefunden. Auch bei den Medium Performance Klebstoffen hat der Anteil der lösemittelfreien Klebstoffe stark zugenommen. Bei den High Performance Klebstoffen ist dagegen nur eine geringe Substitution der lösemittelhaltigen Klebstoffe erfolgt.

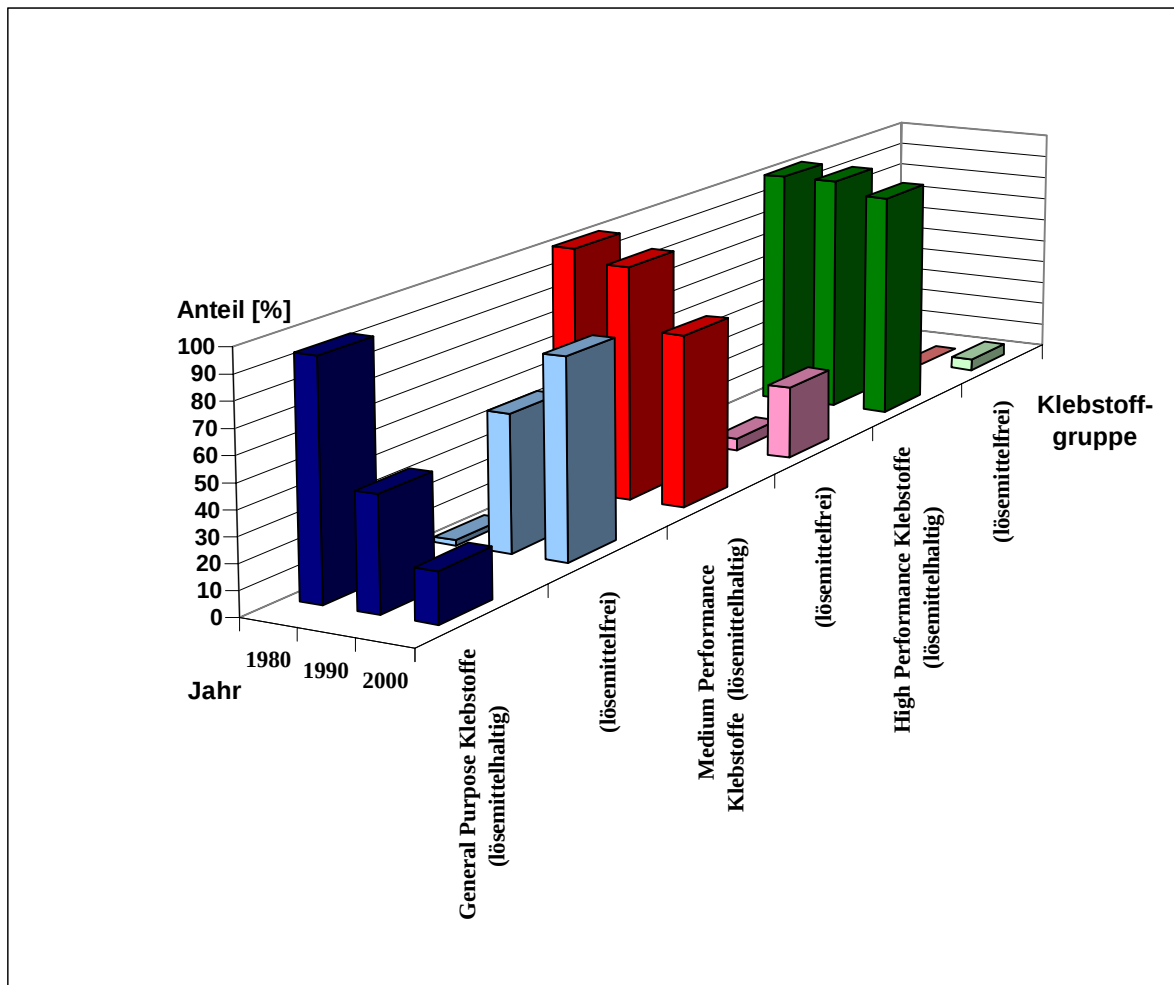


Abbildung 3-3: Entwicklung des Klebstoffmarktes für Kaschierklebstoffe [VDI 1512]

Klebstoffe mit organischen Lösemitteln

Es werden v.a. zwei Systeme eingesetzt:

- epoxyvernetzende, ethanollösliche Polyurethane
- isocyanatvernetzende, ethylacetatlösliche Polyole

Der Vorteil der lösemittelhaltigen Systeme liegt in der hohen Anfangshaftung und der hohen Verbundhaftung und der Resistenz gegenüber chemisch aggressiven Medien. Die Viskosität des Klebstoffes und das Auftragsgewicht kann einfach über den Lösemittelgehalt geregelt werden. Damit können chemikalienresistente und sterilisierfeste Verpackungen hergestellt werden.

Teilweise werden Klebstoffen zur Farbgebung des Verbundes Metallkomplexe zugemischt. Diese Verbindungen sind bisher nur in organischen Lösemitteln löslich und können daher ausschließlich in lösemittelbasierten Klebstoffen verarbeitet werden. Das Verfahren findet z.B. bei der Herstellung von Kaffeefolien für Kaffeeverpackungen Anwendung [RHEINISCH 2001].

Als Kaschiersubstrate lassen sich alle gängigen Filme und Aluminiumfolien verarbeiten. Lösemittelbasierte Klebstoffe werden daher v.a. bei der Bearbeitung von kleineren, schnell wechselnden Aufträgen oder zur Herstellung von Folien für hohe thermische oder mechanische Beanspruchungen eingesetzt. Die Verwendung von nur einem Klebstoffsystem, das zur Herstellung einer Vielzahl von Verbunden geeignet ist, führt dann zu einer Reduktion der Umrüstzeiten bei Materialwechsel und zu einer starken Verringerung des Abfallaufkommens [LÜTKE -LENGERICH 2001].

Klebstoffe mit Wasser als Dispersions bzw. Lösemittel:

- Acryldispersiven
- Polyvinylacetat-Dispersiven
- EVA-Dispersiven
- Latexdispersiven
- PVDC-Dispersiven
- Polyurethan-Dispersiven
- Isocyanatvernetzende, wasserlösliche Polyesterpolyole
- Epoxyvernetzende wässrige Polyurethan- Emulsionen

Teilweise enthalten wässrige Dispersiven noch geringe Anteile an organischen Lösemitteln. Der Klebstoff liegt im Lieferzustand gelöst in Alkohol, Ester oder Ketonen vor und wird mit Wasser vor der Applikation auf Verarbeitungviskosität verdünnt. Bei der Verwendung von Druckfarben auf Wasserbasis kann es zu Reaktionen zwischen Farbe und Klebstoff sowie zu Benetzungsproblemen kommen [VOSS 1993].

Zur Erhöhung der Trocknungsgeschwindigkeit können auch Klebstoffe verarbeitet werden, die sich in Wasser-Alkohol-Gemischen lösen. Bei diesen Systemen kann, im Vergleich zu Wasser als Lösungsmittel, die Trockenzeit erheblich verkürzt werden [VOSS 1993].

Bei der Verwendung von Wasser als Lösemittel oder Dispersionsmittel müssen die zu verklebenden Substrate zumindest teilweise eine saugfähige Oberfläche aufweisen, damit das Wasser aus der Klebstoffschicht verdunsten kann. Daher können mit wasserverdünnbaren Klebstoffen nur Kombinationen aus Folie oder Aluminium mit Papier hergestellt werden [RHEINISCH 2001]. Ein weiteres Problem dieser Klebstoffe ist, dass eine ausreichende Trocknung der Klebstoffschicht nur bis zu Auftragsgewichten von max. 2 g/m² gegeben ist [RHEINISCH 2001].

Klebstoffe ohne (organische oder wässriger-)Lösemittel

- Hotmelt
- 1- und 2- komponentige, strahlungshärtende Klebstoffe
- 100 % Feststoffsysteme enthalten aber oftmals freie Isocyanate

Ein generelles Problem der lösemittelfreien sog. 100 % Systeme ist die Applikation von dünnen, gleichmäßigen Klebstofffilmen. Im Gegensatz zu den lösemittelbasierten Klebstoffen, bei denen sich die Schichtdicken über die Viskosität (Lösemittelgehalt) einstellen lassen, erfolgt die Einstellung der Schichtdicken mechanisch über Auswalzvorgänge. Die applizierte Klebstoffschicht weist daher leicht erhöhte Unregelmäßigkeiten auf, als bei lösemittelbasierte Klebstoffe [RHEINISCH 2001].

Die ersten lösemittelfreien Klebstoffe der sog. ersten Generation für die Kaschierung sind feuchtigkeitshärtende einkomponentige Polyharnstoff-Polyurethan-Klebstoffe. Bei diesen Klebstoffsystemen ist eine vollständige Aushärtung bei der Verklebung von Folie oder Aluminium, auch bei Dampfzufuhr von Außen, nicht immer gegeben, so dass es zu Aushärtungsstörungen kommen kann. Die Klebstoffe werden daher v.a. zur Verklebung von Papierverbunden appliziert, bei denen die Materialfeuchtigkeit die Aushärtung unterstützt. Bei diesen Materialien ist die im Vergleich zu lösemittelhaltigen Systemen geringere Haftfestigkeit von untergeordneter Bedeutung. Darüber hinaus enthalten die Klebstoffe nach der Vernetzung noch größere Gehalte an Restmonomere, die durch Migration in das Füllgut gelangen können [HENKE 1999].

Lösemittelfreie Klebstoffe der 2. Generation sind 2-Komponentensysteme auf Polyesterbasis mit Polyisocyanathärter und können in ihrem Härungsverlauf durch die Dosierung des Härters wesentlich besser beeinflusst werden, als feuchtigkeitshärtende 1-komponentige Klebstoffe. Die Klebstoffe sind flüssig und können bei 25 - 45 °C appliziert werden. Die Polyester weisen eine bessere Haftung auf metallischen Oberflächen auf und können daher auf Aluminiumfolien oder aluminiumbedampften Folien verwendet werden. Auch diese

Klebstoffsysteme zeichnet eine geringe Anfangshaftung aus. Vor allem auf gleitmittelhaltigen Folien, auf EVA (Ethylenvinylacetat) und weiß pigmentierten Polyethylen und EVA-Folien können unerwünschte Antisiegeleffekte auftreten.

Die 3. Generationen der lösemittelfreien Klebstoffe basiert auf 2-komponentigen Polyurethanen. Bei diesen Systemen treten durch eine vollständige Abreaktion der Monomere beim Aushärten keine freien Monomere auf und eine Migration in das Füllgut ist ausgeschlossen. Die Klebstoffe lassen sich für alle Materialien verwenden. Durch die hohe Wärmefestigkeit können Verpackungen durch Wärme sterilisiert werden [HENKE 1993]. Diese Klebstoffe werden meistens auf speziell für das Klebstoffmaterial konstruierten Kaschieranlagen mit einem 3- oder 4-Walzenauftragswerk verarbeitet. Bei der lösungsmittelfreien Kaschierung müssen wegen der geringeren Anfangshaftung die Bahnspannung der Träger und Zulauffolie genau einstellbar sein, um eine Faltenbildung und Rollneigung im Verbund zu verhindern. Bahngeschwindigkeiten von 200 m/min können erreicht werden. Der Nachteil der lösemittelfreien Systeme der 3. Generation ist deren langsame Aushärtung. Zur Aushärtung des Klebstoffsystems vergeht etwa eine Woche. Durch Tempern kann der Vorgang um maximal 2–3 Tage verkürzt werden [HENKE 1995].

Die 4. Generation von lösemittelfreien UV- oder elektronenstrahlhärtenden Klebstoffen basiert auf (1-komponentigen) Epoxiden. Der Vorteil liegt in der durch die Bestrahlung initiierten, hohen Verbundhaftung. Dadurch werden Delaminationen bei der anschließenden Aufwicklung der Bahn verhindert. Der Klebstoff benötigt etwa 15 Stunden, bevor das Material Haftungen aufweist, die eine Weiterverarbeitung zu Verpackungen ermöglicht [HENKE 1995]. Diese Klebstoffe werden bisher nur im Kunststoffbereich oder im Aluminiumbereich für Standardverbunde bis zum mittleren Qualitätsniveau eingesetzt.

3.1.2 Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte

Die Abluftströme der lösemittelverarbeitenden Trockenkaschieranlagen werden im allgemeinen einer Abluftbehandlung zugeführt, in der die VOC thermisch verwertet oder aufgefangen und einer Wiederverwertung zugeführt werden. Inertgas beladene Trockner (vgl. Kapitel 2), die zu einer wirtschaftlicheren Verbrennung von Abluftströmen beitragen können, lassen sich in der Branche wegen der häufigen Materialwechseln, verbunden mit häufigem An- und Abfahren der Anlagen, nicht verwenden. Bei der Herstellung von Verbunden für Konsumverpackungen, stellen auf Grund häufiger Materialwechsel lösemittelbasierte Klebstoffe, die unterschiedliche Materialien verkleben können, vor allem eingesetzt [RHEINISCH 2001].

3.1.3 Ermittlung der BVT- Kandidaten

Integrierte Maßnahmen

Bei der Verwendung von lösemittelhaltigen Klebstoffen können High-Solid Klebstoffsysteme mit Feststoffgehalten bis zu 60 % einen wirksamen Beitrag zur Reduktion des Lösemiteleinsatzes leisten.

Lösemittelfreie Klebstoffsysteme werden bereits im Bereich der sog. General-Purpose- und Medium- Performance-Klebstoffe bei Massen- und Standardverbunden bis zum oberen Qualitätssegment weitestgehend eingesetzt. Sie stellen für dieses Produktsegment eine etablierte BVT dar. Da diese Klebstoffe neben der geringeren Anfangs- und Verbundhaftung eine geringere Chemikalienresistenz im Vergleich zu lösemittelbasierten Klebstoffen aufweisen, lassen sie sich derzeit noch nicht für alle Anwendungen verarbeiten. Wasserbasierte Klebstoffe können nur bei Verklebung von Materialien mit saugfähigen Oberfläche verwendet werden. Dabei können nur Auftragsgewichte von maximal ca. 2 g / m² realisiert werden, um eine vollständige Trocknung der Klebstoffschicht zu gewährleisten.

Bei lösemittelfreien UV- oder elektronenstrahlhärtenden Klebstoffsystemen und Hotmelt-Klebstoffen muss im Gegensatz zu Dispersionen und lösemittelbasierten Klebstoffen die Einstellung der Schichtdicken mechanisch über Auswalzvorgänge realisiert werden. Die Schichtdicke ist daher unregelmäßiger. Der erzeugte Verbund muss zur Aushärtung des Klebstoffsystems einige Tage gelagert werden, bevor das Material zu Verpackungen weiterverarbeitet werden kann.

Die Substitution lösemittelhaltiger Polyurethanklebstoffe erfolgt v.a., da die Lösemittel im Verarbeitungsprozess nicht vollständig verdunsten und daher Spuren der Lösemittel teilweise aus dem Folienverbund über Diffusion in das Lebensmittel gelangen können. Die Substitution erfolgte durch lösemittelfreie, chemisch aushärtende Klebstoffe wie z.B. wässrige Polyurethan-Dispersionen oder wässrige Polyacrylatdispersionen [KAHL 2001, ADHÄSION 2000]. Diese 2 K Systeme werden im Nasskaschierverfahren über 3- und 4-Walzenauftragswerke appliziert. Die Klebstoffauftragsgewichte betragen je nach Anwendung ca. 1,6 – 2,1 g /m². Produziert wird mit Bahngeschwindigkeiten von ca. 150 – 250 m pro Minute [KAHL 2001]. Reinigungslösemittel zur Säuberung von Auftragswalzen und Druckwerken lassen sich über Destillationsanlagen wiederverwenden. Lösemittel werden neben der Reinigung der Kaschierwalzen nur im Druckprozess eingesetzt [KAHL 2001].

Lösemittelbasierte Klebstoffe ermöglichen die Verklebung aller Materialien auch mit hohen Auftragsgewichten (notwendig für hohe Verbundhaftung). Wenn die zu verklebenden Verbundmaterialien häufig innerhalb der Kaschieranlage gewechselt werden, kommen im

allgemeinen lösemittelhaltige High Performance Klebstoffe zur Anwendung. Für stark mechanisch, thermisch (z.B. Sterilisation) oder chemisch beanspruchten Verpackungen sind außerdem derzeit noch keine gleichwertigen lösemittelfreien Klebstoffsysteme verfügbar.

Nachgeschaltete Maßnahmen

Bei der Verwendung von lösemittelbasierten Klebstoffen sind wirksame, nachgeschaltete Abluftreinigungsverfahren etabliert, die teilweise eine Wiedergewinnung der Lösemittel ermöglichen. Durch Absorption an organische Öle mit anschließender Destillation können ca. 98 % der in der Abluft enthaltenen Lösemittel wiedergewonnen werden [RHEINISCH 2001]. Bei der Verwendung von wechselnden Lösemittelgemischen wird im allgemeinen eine thermische Nachverbrennung eingesetzt. Die in die Umwelt emittierten Lösemittelmasse ist gering und resultiert überwiegend aus diffusen Emissionen. Reinigungslösemittel zur Säuberung von Auftragswalzen und Druckwerken lassen sich über Destillationsanlagen zurückgewinnen und führen zu einer Reduktion der zu entsorgenden Menge an Sonderabfall. Lösemittel aus Klebstoffresten lassen sich über Destillation wiedergewinnen und stofflich oder thermisch verwerten. Diffuse Emissionen können damit verringert werden [RHEINISCH 2001].

3.1.4 Vorschlag der besten verfügbaren Technik

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 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 Wiederverwertung der Lösemittel durch Destillation. Bei nicht wieder verwertbaren Lösemitteln (z.B. in Folge stark wechselnder Lösemittelgemische), kann die thermische Abluftreinigung eingesetzt werden. Die Prozesswärme wird dann i.a. für den Betrieb der Trockneranlagen genutzt. Reingaswerte von $< 20 \text{ mg C/m}^3$ werden erreicht.

-
- Reduktion diffuser Emissionen durch Destillation von lösemittelhaltigen Klebstoffresten und Reinigungslösemitteln mit anschließender Verwertung der Lösemittel

3.1.5 Neue fortschrittliche Verfahren

Möglicherweise können neuentwickelte, lösemittelfreie Polyacrylat-Dispersionen für die meisten Anwendungen im Snack-Food-Bereich (General- und Medium-Purpose-Klebstoffe) die lösemittelhaltigen Polyurethanklebstoffe ersetzen [ADHÄSION 11/2000, MEYER-ROSCHER 1999]. Die Anwendung der lösemittelfreien Klebstoffe ist möglich, da im Snack-Food-Bereich keine extrem hohen Verbundwerte erforderlich sind und zusätzlich die lebensmittelrechtlichen Vorschriften eingehalten werden können. Bei dem Ersatz lösemittelhaltiger Polyurethane durch lösemittelfreie (feuchtigkeitshärtend oder als Dispersion) ist zu beachten, dass auch diese Systeme Isocyanat enthalten. (Nachteile der Acrylatdispersionen waren in der Vergangenheit Haftungsprobleme auf Nitrocellulose-basierten Druckfarben.) Die mit Acrylatdispersionen neuerer Generation erzielbaren Schälfestigkeiten erreichen annähernd die von lösemittelhaltigen Polyurethan-Klebstoffen [MEYER-ROSCHER 1999]. Die Anwendung dieser lösemittelfreien Klebstoffsysteme befindet sich bisher in der Pilotphase [FRICKE 2000].

3.1.6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die Anwendung von lösemittelbasierten Klebstoffen ist heute überwiegend auf den sog. High-Performance-Bereich beschränkt. Für diesen Bereich werden zur Zeit leistungsfähige, lösemittelfreie Klebstoffsysteme entwickelt, so dass auch im oberen Qualitätssegment eine Substitution der Lösemittelklebstoffe in Zukunft zu erwarten ist.

Quellenverzeichnis

[ADÄSION 2000]

Adhäsion, Kleben und Dichten: Verbundfolienkaschierung auf Basis wässriger Dispersionen, (10 / 2000)

[BMU 1997]

BMU: Gemeinsamer Abschlußbericht zum Dialog des BMU und des VCI zu Umweltzielen am Beispiel VOC, (1997)

[FKN 2000]

FKN, Fachverband für flüssige Nahrungsmittel e.V.: Mündliche Mitteilungen (11 / 2000)

[FRICKE, SCHUMACHER 2000]

Firma Basf AG: Mündliche Mitteilungen Dr. Fricke, Dr. Schuhmacher (11 / 2000)

[HVP 200]

HVP, Hauptverband der Papier, Pappe und kunststoffverarbeitenden Industrie e.V. (HPV): mündliche Mitteilungen Herr Heinrich, (11 / 2000)

[IKV 2000]

Industrieverband Kunststoffverpackungen e.V.: www.kunststoffverpackungen.de, (11 / 2000)

[HENKE 1999]

Henke, D.: Lösungsmittelfreie Kaschierklebstoffe, unkompliziert, schnell und verlässlich, 24. Münchener Klebstoff- und Veredelungsseminar, Fachhochschule München, 1999

[HENKE 1995]

Henke, D.: Responsible care durch lösungsmittelfreie Kaschierklebstoffe, 20. Münchener Klebstoff- und Veredelungsseminar, Fachhochschule München, 1995

[KAHL 2001]

Kahl, J.: Cryovac Sealed Air Corporation, Flensburg, persönliche Mitteilungen, April 2001

[LÜTKE-LENGERICH]

Lütke-Lengerich, A.: Bischof & Klein GmbH, Werk Lengerich, persönliche Mitteilungen Mai 2001

[MEYER-ROSCHER 1999]

Meyer-Roscher, Schumacher, Fricke: Leistungsspektrum wässriger Dispersionen für die Verbundfolienkaschierung, 24. Münchener Klebstoff- und Veredelungsseminar, Fachhochschule München, 1999

[NETWIG 2000]

Netwig, J.: Kunststoff Folien: Herstellung, Eigenschaften-Anwendung, Hanser-Verlag München, 2000

[SCHMID 1997]

Schmid, L.: Lösemittelfreie Kaschierung und ihr Einsatz bei der Herstellung bei Verbunden auf der Basis Papier und metallisierte PETP-Folie, Fachhochschule Stuttgart Hochschule für Druck, Prof. Gosh, Diplomarbeit, 1997

[STATISTISCHES BUNDESAMT]

Statistisches Bundesamt, 11. 00: Produktionszahlen 1999: [www.info @statistik-bund.de](http://www.info@statistik-bund.de) (11 / 2000)

[RHEINISCH 2001]

RHEINISCH, D.: Bischof & Klein GmbH, Werk Lengerich, persönliche Mitteilungen Mai 2001

[VDI 2000]

VDI-Berichte 1512, 2000: VDI-Verpackungsforum 2000 Flexible Verpackungen

[VDI 2587]

VDI-RICHTLINIE 2587: Emissionsminderung Rollenoffsetdruckanlagen mit Heißlufttrocknung, Verein deutscher Ingenieure, 2001

[VOSS 1993]

Voss, J; Römer, M: Verarbeitungsbedingungen und Einsatzgebiete für lösungsmittelfreie und wässrige Kaschierklebstoffe, 18. Münchener Klebstoff- und Veredelungsseminar, Fachhochschule München, 1993

[WIEGEL 2001]

WIEGEL, Firma Windmüller und Hölscher: Mitteilungen, (03 / 2001)

[WALLMANN 1999]

Walman, W: Entwicklungstrends im Bereich Flexo- und Tiefdruckmaschinen in der flexiblen Verpackung, 24. Münchener Klebstoff- und Veredelungsseminar, Fachhochschule München, 1999

4 Fahrzeugindustrie

In diesem Kapitel werden die verschiedenen Klebstoffanwendungen in den Teilbereichen der Fahrzeugindustrie beschrieben. Klebstoffe werden in der Serienherstellung von Personenkraftwagen, Nutzfahrzeugen, Reisemobilen und Wohnwagen sowie in der Flugzeug- und Schienenfahrzeugindustrie verwendet. Bei den Herstellungsprozessen für Fahrzeuge hat innerhalb der letzten Jahre eine weitreichende Substitution lösemittelhaltiger Klebstoffe stattgefunden. Anlagen, deren Verbrauchskapazität die Mengenschwellen der IVU-RL (Anhang I, 6.7) überschreiten, sind nicht bekannt. Den größten Verbrauch an lösemittelhaltigen Klebstoffen mit bis zu ca. 100 t pro Jahr, haben einige Anlagen zur Herstellung von Bussen. Dabei werden zusammen mit der Lackapplikation die Mengenschwellen der IVU-Richtlinie überschritten. Für diese Bereiche sind bereits Techniken verfügbar, die Emissionen an VOC stark reduzieren.

4.1 Herstellung von Personenkraftwagen

In diesem Abschnitt wird die Klebstoffanwendung in der Serienfertigung von Personenkraftfahrzeugen beschrieben. Zu den Personenkraftwagen zählen Fahrzeuge mit weniger als 10 Sitzplätzen inkl. Fahrersitz, die dem Transport von Personen und Gepäck dienen [Richtlinie 70/156/EWG] (vgl. Kapitel 2.1.1, Teilband Lackanwendung). Im Jahr 1999 wurden 5.31 Mio. Pkw von den sieben in Deutschland produzierenden Herstellern gebaut [MÜLLER 2000].

Klebstoffe werden im Gegensatz zur Lackierung punktuell in allen Produktionslinien verarbeitet. Innerhalb der letzten 10 Jahre wurden lösemittelhaltige Klebstoffe fast vollständig substituiert (vgl. Kapitel 4.1.2) [DECHEMA 1989]. Da die Situation in anderen EU-Mitgliedsstaaten möglicherweise unterschiedlich ist und der Sektor noch vor wenigen Jahren große Mengen an Lösemittelklebstoffen verarbeitete, wird im Folgenden der Stand der Technik in Deutschland beschrieben.

4.1.1 Allgemeine Informationen

Um die Torsionssteifigkeit und die passive Sicherheit der Fahrzeugkarosserie zu erhöhen, werden im Karosseriebau kombinierte Punktschweiß-Klebungen (an Stelle von reinen Schweißverbindungen) angewendet. Die Anwendung moderner Kleb- und Dichtstoffe im

Karosseriebau ermöglicht lange Korrosionsschutzgarantien, da beim Kleben Korrosionsschutzschichten nicht verletzt werden und in Folge der Dichtwirkung Spaltkorrosion verhindert wird [VERBAND DER KLEBSTOFFINDUSTRIE 2000].

Das Kleben bietet die Möglichkeit, Teile verzugsfrei zu verbinden. Eine Nachbearbeitung der Oberfläche, wie z.B. beim Punktschweißen entfällt, und eine höhere Oberflächengüte kann erreicht werden. Durch Auftrag von Klebstoffen in Form von Klebstoffraupen können größere Fertigungstoleranzen überbrückt werden. Elastomere Klebstoffe lassen sich wirkungsvoll zur Eindämmung von Schwingungen im Fahrbetrieb und zur Verbesserung des akustischen Verhaltens einsetzen [ADHÄSION 1997]. Im Automobilbau wird eine Vielzahl von verschiedenen Klebstoffen als Verbindungsmittel und als Dichtmittel verwendet. Eine genaue Aufteilung der Anwendungen ist oft nicht möglich [HINTERWALDER 1991].

In Folge der EU-Altautoverordnung sind die Hersteller bemüht die Fahrzeuge so zu konstruieren, dass eine problemlose Demontage nach der Nutzungsphase möglich ist. Klebeverbindungen lassen sich nur unter größerem Aufwand trennen und sind daher in einigen Bereichen wieder durch mechanische Fügeverfahren ersetzt worden.

Der Einsatz lösemittelhaltiger Klebstoffe hat in der Pkw-Serienproduktion keine Bedeutung mehr. Die Reduktion der lösemittelhaltigen Klebstoffe erfolgte aus technologischen Gesichtspunkten (z.B. Abspalten von Säuren beim Punktschweißkleben), aus Gründen des Gesundheitsschutzes und in Folge verstärkter Auflagen für Innenraumemissionen von Neufahrzeugen.

Als Faktoren, die eine Reduktion lösemittelhaltiger Klebstoffe bewirkten, sind v.a. zu nennen:

- Wegfall der Verklebung von Teppichböden durch Einsatz hinterschäumter Formteile,
- Ersatz der Verklebung von Dämmmaterialien und Verkleidungsteilen durch mechanische Befestigung,
- Ersatz verklebter Gummidichtungen durch Steckprofile,
- Umstellung der Klebstoffformulierungen auf lösemittelfreie Systeme im Karosseriebau (Rohbau) aus Gründen des Brandschutzes und der Vermeidung korrosiver Spaltprodukte der Klebstoffe bei Erhitzung durch Punktschweißen sowie
- Zunehmende Verlagerung von Fertigungsprozessen in die Betriebe der Zulieferindustrie.
- Ersatz von Klebeverbindungen durch mechanische Befestigungen zur besseren Demontage nach Nutzungsdauer.

Die warmhärtenden Klebstoffe härten i.a. in den Trockneranlagen der Lackerei.
Abspaltprodukte die ggf. auftreten können, werden mit der Abluft TNV Anlagen zugeführt.

4.1.2 Verwendete technische Prozesse und Verfahren

4.1.2.1 Applikation

In der Automobilfertigung erfolgt der Auftrag der Stoffe meist linienförmig in Form von „Fäden“ oder bei hochviskosen Stoffen in Form von Raupen. Die Applikation aus den Auftragsdüsen wird mit Hilfe des in der Fasspresse erzeugten hydrostatischen Druckes des Materials („airless“) realisiert. Da das Material dabei nicht mit Druckluft versprüht wird, entsteht kein Overspray. Die Applikationsdüsen sind entsprechend der benötigten Geometrie der Klebstoffraupe geformt. Bei der flächigen Klebstoffapplikation wird das Material unter geringem Druck warm aufgespritzt. Die Zerstäubung erfolgt mit Hilfe von Druckluft oder airless. Die Applikationsgeräte werden z.T. manuell betrieben; überwiegend erfolgt der Klebstoffauftrag bereits automatisiert durch Roboteranlagen.

Schmelzklebstoffe liegen meist in Form von Granulaten oder in Strangform, in Kartuschen oder als Fassfüllungen vor. Die Verarbeitung der festen Stoffe orientiert sich an der Lieferform und dem Verarbeitungsgerät. Vor der Verarbeitung werden die Stoffe aufgeschmolzen. Die Applikationsgeräte reichen von Schmelzklebepistolen mit eingebauten Schmelzbehältern über größere Einheiten bis zu Fassschmelzanlagen mit beheizter Bodenplatte. Das aufgeschmolzene Material wird unter definierten Temperaturen über beheizte Schläuche der Applikation zugeführt [ENDLICH 1997].

Pastöse Klebstoffe wie z. B. die sog. Rohbauplastisole, werden üblicherweise in Fassform bereitgestellt. Zur Förderung der hochviskosen Stoffe werden hydraulische oder elektrische Fasspumpen eingesetzt. Diese werden hydraulisch oder elektrisch betrieben. Der Druckstempel und die Zuleitungen der Fasspresse zu den Applikationsstellen sind z.T. beheizt, um die hochviskosen Stoffe fließfähiger zu machen. Bei 2K-Klebstoffen werden die einzelnen Komponenten über Fasspressen in definierten Mengenverhältnissen gefördert und in einer Mischeinrichtung (z.B. Mischrohr oder dynamischer Rührer) vermischt und der Applikationsstelle zugeführt. Die 1K Klebstoffe härten über Reaktionen mit der Luftfeuchtigkeit oder über Erwärmung in den Trockneranlagen (z. B. in der Lackiererei) aus.

4.1.2.2 Produktionslinien mit Klebstoffanwendung

Bei Pkw Serienfertigung finden sich die Klebstoffanwendungen in den Produktionslinien Karosserie-Rohbau, Lackierei, Aggregatefertigung und Montage. Die in der Aggregatefertigung produzierten Motore und Getriebe werden in der Montage verbaut. In der Abbildung 4-1 sind die Produktionslinien mit Klebstoffanwendung dargestellt.

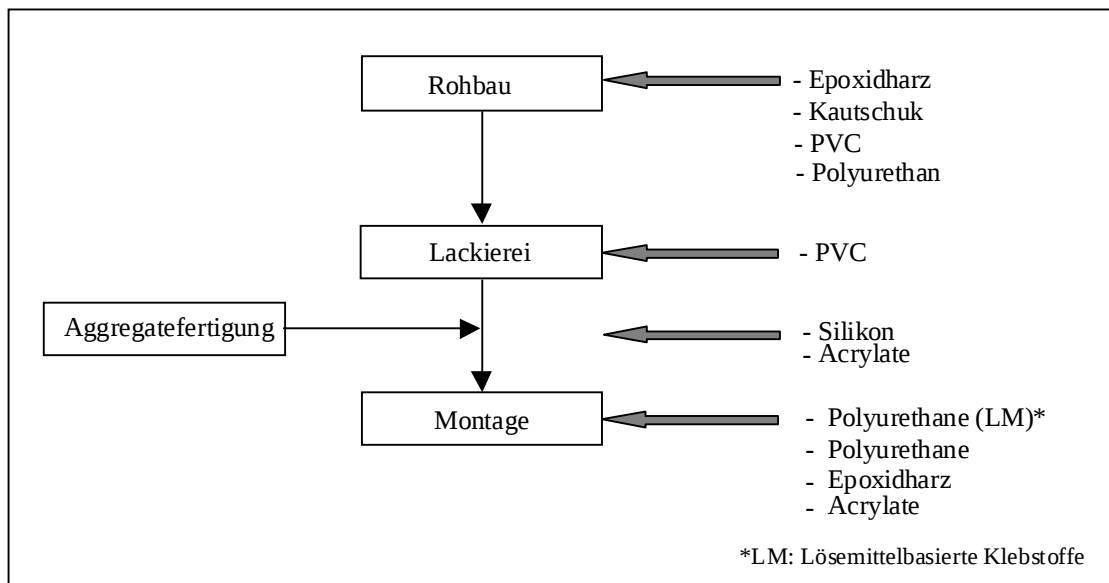


Abbildung 4-1: Produktionslinien der Pkw- Serienfertigung mit Klebstoffanwendung

Die eingesetzten Verfahren unterscheiden sich bei den Herstellern überwiegend durch den Grad der Automatisierung des Klebstoffauftrags. In der Anwendung der Klebstoffarten gibt es dagegen große Übereinstimmungen. Nachfolgend werden die in der Serienproduktion von Kraftfahrzeugen verwendeten Verfahren beschrieben.

4.1.2.3 Rohbau

Im Karosserie-Rohbau werden die Einzelteile der Fahrzeugkarosserie zusammengeschweißt und / oder verklebt. Dabei werden lösemittelfreie Klebstoffe verarbeitet, vor allem Epoxidharz-Klebstoffe, Kautschuk-Klebstoffe und PVC-Nahtdichtstoffe. Diese Stoffe werden als Punktschweißklebstoffe, Abdichtmassen und Metallverbundklebstoffe eingesetzt.

Die in den Anbauteilen wie Türen oder Klappen (bei einigen Herstellern auch die gesamte Karosserie) verarbeiteten Klebstoffe werden in einem Trockner bei 140 °C ca. 20 min vorgeliert, um eine ausreichende Wäscherbeständigkeit der Verbindungen in den Fertigungsprozessen der Lackiererei zu erreichen. Für einzelne Anbauteile werden auch Induktionsanlagen angewendet. Bei der induktiven Vorgelierung wird im Falzbereich der Anbauteile Strom induziert, der das Metall und den Klebstoff erhitzt. Die bei der Vorgelierung in die Trockneranlagen ggf. entweichenden flüchtigen Komponenten der Klebstoffe (Weichmacher etc.) werden mit dem Abluftstrom einer TNV (i.a. der Lackiererei) zugeführt. Das endgültige Aushärten der Klebstoffverbindungen erfolgt in den Trocknern der Lackiererei. Die im Rohbau durchgeführten Verfahren lassen sich in **Struktur-** sowie **Stütz- und Unterfütterungsverklebungen** einteilen.

Strukturverklebungen

Strukturell verklebt (d.h. hochbelastbar) werden stark beanspruchte Bauteile der Karosserie wie z.B. Türrahmen und Türhaut. Die strukturelle Verklebung der Türen wird ohne Punktschweiß-Klebungen realisiert. Der Klebstoffauftrag erfolgt im Wirbelsprühverfahren, (airless), entlang der Falznahtkontur. Nach dem Zusammenfügen von Türrahmen und Außenblech wird der Türfalz in sog. Bördelpressen automatisch umgelegt. Ebenfalls strukturverklebt werden Karosserieelemente wie z.B. Teile des Radkastens oder bei einigen Herstellern die komplette Seitenbeblechung. Die Klebstoffapplikation erfolgt analog zur Türfertigung.

Als Strukturklebstoffe werden warmhärtende 1-K oder Epoxidklebstoffe verwendet. Polyurethanklebstoffe werden im Rohbau nicht mehr eingesetzt, da diese bei Erwärmung (z.B. durch Schweißen) humantoxische Spaltprodukte freisetzen. Die Epoxidklebstoffe bieten den Vorteil gegenüber Induktionsverfahren innerhalb weniger Sekunden auszuhärten und so eine feste Verbindung der Bauteile zu gewährleisten. Die Verarbeitung verlangt einen höheren Anlagenaufwand, da Mischsysteme notwendig sind.

Stütz- und Unterfütterungsverklebungen

Mit PVC-Plastisolen oder Kautschuk-Klebstoffen werden Stütz- und Unterfütterungsklebungen vorgenommen. Stützverklebt sind z.B. Dach- und Türspiegel¹. Klebstoffraupen werden in vielen Bereichen zwischen übereinander liegenden Blechen zur Vermeidung von Schwingungen aufgetragen. Haubenspiegel werden von einigen Herstellern mittels warmhärtender Kautschuke verklebt.

Tankstutzen und der Motorhaubenspiegel werden über lösemittelfreie, warmhärtende Kautschukklebstoffe befestigt. Die Applikation und der Einbau werden meist automatisiert durchgeführt.

4.1.2.4 Lackiererei

Nach dem Durchlauf der KTL-Anlage werden die Nähte und Falze der Karosserie zum Schutz vor Korrosion abgedichtet. Dadurch sollen Freischnitte, Blechdoppelungen sowie Punktschweißnähte, die beim Grundieren nicht verschlossen werden können, gegen das Eindringen von Feuchtigkeit abgedichtet werden, um so einer möglichen Unterrostung vorzubeugen. Zur Karosserieabdichtung werden PVC-Plastisole und reaktive Schmelzklebstoffe verwendet. Die Grobabdichtung wird im später nicht mehr sichtbaren Bereich automatisiert durch Roboter appliziert. Die sichtbare Feinabdeckung (z.B. Türfalze, Kofferraumbereich) wird häufig manuell aufgetragen, indem das Kleb-Dichtmittel über Schlauchleitungen oder aus Kartuschen zugeführt wird.

Die Schallschutzmatten werden entweder mechanisch, über Selbstklebebeschichtungen oder über eine Schmelzklebstoffschicht befestigt, die auf die Materialien bereits bei den Zuliefererbetrieben appliziert wurden. Diese Klebstoffe werden durch die Wärme in Lacktrocknern der Lackiererei aktiviert und verkleben auf der KTL Oberfläche der Karosserie beim Abkühlen.

4.1.2.5 Montage

In der Montage wird das Fahrzeug mit Antriebsaggregat und der Innenausstattung und Scheiben komplettiert. Im Vergleich zu den anderen Produktionslinien, wird in der Montage die größte Klebstoffmenge für Verbindungen von Glas-Metall-Kunststoff verarbeitet. Es werden 2-K Polyuerthansysteme appliziert, während für die Verklebungen von Kunststoffen heißhärtende 1K- oder 2K- Epoxidharze, heißhärtende Butylkautschuke, reaktive Schmelzklebstoffe oder Methylmethacrylate verwendet werden. Diese Verbindungen sind lösemittelfrei.

Einige Hersteller kleben die Dachpappe und den Wagen-Himmel mit Polyurethan-Klebstoffen ein. Die applizierte Klebstoffraupe dient neben der Verbindung von Wagen-Himmel, Dachpappe und Dach der Versteifung der Gesamtkonstruktion. Im Zuge der Recycelbarkeit der einzelnen Fahrzeugkomponenten nach der Nutzungsphase werden heute überwiegend mechanische Befestigungen eingesetzt.

¹ Bügel zur Versteifung des Wagenverdeckes bzw. der Türen

Die Befestigung der Schalttafel an der Spritzwand wird teilweise über kombinierte Schraub-Klebstoffverbindungen mit feuchtigkeitsvernetzenden Polyurethan-Klebstoffen vorgenommen. Die Applikation der Klebstoffraupe erfolgt automatisch. Teilweise werden in der Montage Kunststoff- Reserveradmulden in die Karosserie mittels feuchtigkeithärtenden 1K- Polyurethanklebstoffen eingeklebt. Verarbeitung und Einbau erfolgen automatisiert. Die Türinnenfolie wird in der Montage mit Hilfe von Butylkautschuk (Heißbutyl) verklebt.

Die nicht beweglichen **Scheiben** werden über feuchtigkeitsvernetzende 1K-Polyurethan-Klebstoffe oder reaktive Schmelzklebstoffe verklebt. Zur Haftvermittlung auf Glas ist der Auftrag eines lösemittelhaltigen Primers (1–2 g pro Fahrzeug) erforderlich. Der Scheibenrahmen der Karosserie wird optional manuell mit organischen Lösemitteln (Lappen, Sprühflasche) vom Overspray der Hohlraumkonservierung gereinigt.

Die Herstellung und der Verbau der **Kabelbäume** wird mit Hilfe von Klebebändern vorgenommen. Die Kabeldurchführungen durch die Spritzwand in den Fahrzeuginnenraum werden über Klemmtüllen klebstofffrei abgedichtet.

4.1.2.6 Aggregatefertigung

Flächenabdichtungen von Motoren- und Getriebeteilen werden mittels lösemittelfreien, feuchtigkeithärtenden Silikon-Kleb-Dichtstoffe oder dauerplastische warm-härtende Kautschukklebstoffe vorgenommen. Schraubverbindungen werden gegen vibrationsbegründete Klemmkraftverluste und Lockern mit anaerob-härtenden Methacrylaten abgesichert.

4.1.3 Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte

Tabelle 4–1 gibt eine exemplarische Übersicht über die Klebstoffanwendung in den Produktionslinien der Pkw-Serienfertigung am Beispiel eines Pkw der Kompaktklasse. Die in Rohbau, Lackiererei und Montage eingesetzten Klebstoffe, sind 1K-Kleb-Dichtstoffe, die durch Erwärmung in den Trockneranlagen, in Induktionsanlagen (z.B. Anbauteile) oder durch die Luftfeuchtigkeit aushärten.

Die pro Fahrzeug verarbeitete gesamte Klebstoffmasse beträgt in Abhängigkeit der Fahrzeuggröße und des Typs ca. 2,5 - 4 kg. Dabei werden vereinzelt und bei nur wenigen Modellen noch ca. 10 - 20 g lösemittelhaltige Kleb-/Dichtstoffe pro Fahrzeug verarbeitet. Die Applikation dieser Formulierungen ist auf kleine Spezialanwendungen beschränkt, wie bei einem Hersteller die Abdichtung eines Dichtflansches im Antriebsstrang gegen Ölaustritt mit einer lösemittelhaltigen Polyurethandichtmasse oder die Kaschierung des

Batteriekastendeckels mit Teppichboden. Für die nächste Fahrzeuggeneration ist die Verwendung von Lösemittelklebstoffen nicht mehr vorgesehen.

Tabelle 4-1: Exemplarische Klebstoffanwendung in der Serienfertigung von Pkws am Beispiel der AUDI AG [ACHATZ 2001]

Einsatzzweck	Materialbasis
Rohbau	
Bördefalz- und Punktschweißklebstoff	Epoxidharz
Bördefalz- und Punktschweißklebstoff für Aluminium	
Strukturklebstoff	
Struktur- und Falzverklebung, auswaschbeständig	Kautschuk
Unterfütterungsklebstoff	Kautschuk, Acrylat, PVC / Epoxidharz, Polyurethan
Lackiererei	
Feinnahtabdichtung	PVC, Festkörper ca. 97 %
Grobnahtabdichtung	PVC, Festkörper ca. 97 %
Montage	
Scheibenklebstoff	Polyurethan (luftfeuchtigkeitshärtend)
Glasaktivator*	Silan, Ethanol > 95 % (ca. 1-2 g/Fahrzeug)
Glasprimer*	Polyurethan, Acetate und Ketone ca. 60 % (ca. 1-2 g/Fahrzeug)

*Lösemittelhaltige Produkte

4.1.3.1 Klebstoffabfälle in der PKW-Serienproduktion

Folgende Abfälle entstehen aus Betrieb und Wartung der Applikationsanlagen:

- Overspray bei Klebstoffauftrag durch Sprühen
- Reststoffe in Gebinden
- Putztücher mit Klebstoffresten
- Überlagerte oder unbrauchbar gewordene Ansätze

Ausgehärtete Epoxid-Klebstoffe können als gewerblicher Hausmüllentsorgt werden. Polyurethanklebstoffe sind dagegen Sonderabfall.

4.1.4 Emissionsminderungsmaßnahmen

In der Serienfertigung von Pkw werden, abgesehen von wenigen kleinen Spezialanwendungen, überwiegend lösemittelfreie Klebstoffe verarbeitet. Die Verwendung von lösemittelhaltigen Klebstoffen ist für die neuen Fahrzeuggenerationen nicht mehr vorgesehen. Eine weitere VOC-Emissionsminderung für die Anlagen der Klebstoffanwendung in der Automobilindustrie ist nicht möglich. Die eingesetzten Technologien können als bereits etablierte BVT bezeichnet werden. Durch die zunehmende Verwendung von bei Raumtemperatur, feuchtigkeitshärtenden Klebstoffen, werden energieaufwendige, thermische Trocknungsverfahren reduziert.

4.2 Herstellung von Nutzfahrzeugen

Allgemeine Informationen

Nutzfahrzeuge dienen dem Transport von Gütern und Personen. 1999 wurden in Deutschland 366343 Lastkraftwagen und 11825 Busse hergestellt. Im Vergleich zur PKW-Serienproduktion ist der Grad der Automation wesentlich geringer [RIPPERT 1998]. Bei der Fertigung von LKW dominieren mechanische Fügeverfahren. Lösemittelfreie Klebstoffe werden v.a. im Bereich der LKW-Fahrerhausfertigung verarbeitet.

Emissionen entstehen bei der Verarbeitung und Trocknung von lösemittelhaltigen Klebstoffen in der Bussproduktion. Analog zur Pkw-Serienproduktion werden bei der Fertigung von Nutzfahrzeugen emissionsarme Klebstoffverfahren angewendet. Es werden überwiegend feuchtigkeithärtende Klebstoffsystemen in der Buss- und LKW-Produktion eingesetzt. Neben der Vermeidung von Emissionen sind diese Klebstoffe auch energetisch günstig, da keine Trocknungsanlagen zum Aushärten der Klebstoffe benötigt werden. *Eine Ausnahme stellt das Einkleben des PVC-Fußbodenbelags auf den Holzfußboden in Stadtlinien- und Reisebussen und der Verklebung von Motorraumisolierung, Kantenschutz und Schwerstoffmatten bei einigen Busherstellern dar, bei der pro Fahrzeug ca. 30 - 35 kg lösemittelhaltige Klebstoffe verwendet werden.* Bei der Fahrerhausfertigung von LKW werden von den deutschen Herstellern keine lösemittelhaltigen Klebstoffe verarbeitet (vgl. Kapitel 4.2.2.3).

Eine IVU-Relevanz liegt auf Grund der im Vergleich zur PKW Produktion sehr geringen Stückzahlen und der teilweise bereits erfolgten Substitution lösemittelhaltiger den Bereich der Klebstoffanwendung nicht vor. Zusammen mit den verarbeiteten Lacken und Reinigern werden die Mengenschwellen der IVU-Richtlinie in einigen Anlagen zur Herstellung von Bussen überschritten. Dabei finden Lackierprozesse und Klebstoffanwendungen räumlich getrennt statt.

Verwendete technische Prozesse und Verfahren

Bei der Fertigung von Bussen wird Klebstoff in den Produktionslinien Rohbau, Lackiererei, Fertigbau und im Bereich der Anbauteile verarbeitet. Bei der Produktion von Bussen werden Seitenwände, Dachhaut, Bug- und Heckmaske, Anbauteile aus Blech und Kunststoff sowie der Fußbodenbelag eingeklebt. Der Klebstoffauftrag bei der Fertigung von Bussen erfolgt manuell aus Fissanlagen oder aus Kartuschen. Ein automatischer Auftrag erfolgt auch auf

Grund der im Vergleich zur Pkw-Herstellung größeren, konstruktionsbedingten Fertigungstoleranzen nicht.

Wie bei der Pkw-Serienproduktion wird die Innenausstattung (Sitze, Türverkleidungen, Amaturenbretter etc.) von Zulieferfirmen angekauft und am Band verbaut. Die klebetechnischen Prozesse finden damit nicht mehr bei den Fahrzeugherstellern statt (vgl. Kapitel 4.4).

4.2.2.1 Rohbau

Bus-Rohbau

Die Herstellung von Bussen unterscheidet sich in der Herstellung von Pkw durch den wesentlich geringeren Grad der Automation. Busse werden in kleineren Stückzahlen hergestellt.

Im Busrohbau werden am (KTL-)gründierten Busgerippe Strukturverklebungen, und Stützverklebungen ausgeführt. Feuchtigkeitshärtende 1K Polyurethanklebstoffe und 1K Polyoxipropylene, sog MS-Polymere (**M**odified **S**ilikon) werden für strukturelle Verklebungen eingesetzt. MS-Polymere werden an Stelle der Polyurethane für das Verkleben von verzinkten Blechen verwendet, da diese ein höheres Haftungsspektrum aufweisen. Die MS-Polymere sind frei von Isocyanat und unterliegen nicht der Kennzeichnungspflicht. Mit MS-Polymeren werden die Seitenwände am Fahrzeug befestigt und mit Butylkautschuken unterfüttert. Mit Polyurethanen werden Bug und Heckmaske, Heckbank, Abdeckungen im Innenraum und die Dachhaut, die aus GFK-Kunststoffen (glasfaserverstärkter Kunststoff) bestehen, verklebt. Der Klebstoffauftrag erfolgt manuell über Fissanlagen oder Kartuschen.

Lkw-Rohbau

Strukturelle Verklebungen und Unterfütterungsverklebungen im Rohbau der Fahrerhausfertigung werden mit lösemittelfreien 1K Kautschukklebstoffen durchgeführt. Mit dem Gestell werden die Fahrerhausseitenbleche verklebt. Die Klebstoffe härten in den Trockenöfen der Lackiererei aus. Die Klebstoffe werden automatisiert als sog. Klebstoffraupe aufgetragen. Die Klebstoffförderung aus den Fissanlagen erfolgt über den hydrostatischen Druck, der über die Folgeplatte aufgebaut wird.

4.2.2.2 Lackiererei

Busse / LKW

In der Lackiererei erfolgt analog zur PKW-Serienproduktion die Abdichtung von Schweißnähten und Blechdoppelungen mit PVC-Plastisolen oder 1K- und 2 K-Polyurethanen.

4.2.2.3 Fertigbau

Fertigbau Bus

Beim Innenausbau werden feuchtigkeitshärtende lösemittelfreie 1K- und 2K-Polyurethanklebstoffe und Polychloroprenklebstoffe verarbeitet. 1K-Polyurethanklebstoffe werden zum Verkleben der Fahrzeugscheiben und zum Einkleben des Sperrholzfußbodens eingesetzt. Stoßkanten der Fußbodenholzplatten werden mit 2K-Polyurethanklebstoffen abgedichtet. Auf den Sperrholzboden wird bei Stadtlinienbussen von einigen Herstellern, ein PVC-Belag mit lösemittelhaltigen Polychloroprenklebstoffen aufgeklebt. In kleineren Mengen kommen bei einigen Herstellern lösemittelhaltige Polychloroprene zur Verklebung von Motorraumisolierung, Kantenschutz und Schwerstoffmatten zum Einsatz (vgl. Tabelle 4-2). Pro Fahrzeug werden ca. 30 - 35 kg Polychloroprenklebstoff (Feststoffgehalte ca. 20 %) verarbeitet [JUREK 2000]. Alternative Klebstoffsysteme, wie z. B lösemittelfreie Acrylate und Polyurethane, sind bei einigen Herstellern im Einsatz [EVOBUS 2000].

Innenausbau Lkw-Fahrerhaus

Im Innenausbau wird das Frontmodul (Amaturenbrett), die Verglasung und das Dach verklebt. Für die Klebeverfahren werden feuchtigkeitshärtende 1K-Polyurethanklebstoffe verarbeitet. Diese Produkte enthalten Isocyanat. Daher wird die Abluft abgesaugt und über Dach abgeführt. Die Klebstoffapplikation erfolgt automatisch. Die Klebefläche der Glasteile wird automatisch mit einem lösemittelhaltigen Primer beschichtet (ca. 5 g pro Fahrzeug). Das verklebte Dach ist mit einem Spriegel zur Aussteifung verklebt. Die gesamte Klebstoffmenge beträgt ca. 2,5 kg pro Fahrerhaus.

Aufbauten- Fertigung Lkw

Für die Verklebung der Wandelemente des Kühlaufbaus werden lösemittelfreie 2K-Polyurethanklebstoffe verarbeitet. Bei der Montage der Wandelemente werden 2K-Polyurethanklebstoffe oder feuchtigkeitshärtende 1K-Polyurethanklebstoffe eingesetzt [FUHRMANN 2000, KLEBEN- DICHTEN 8 / 1999].

Bei der Herstellung von Aufbauten für Trockenfrachtfahrzeuge werden zur Verklebung der Einzelsegmente lösemittelfreie 1K- oder 2K-Polyurethanklebstoffe verbaut. Die Klebstoffapplikation erfolgt manuell.

Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte

Da bei der Produktion von LKW keine lösemittelhaltige Klebstoffe appliziert werden, erfolgt im Folgenden eine Beschreibung der bei der **Bussproduktion** verarbeiteten Klebstoffmengen.

4.2.3.1 Emissionen in die Luft

Für Verklebungen des Fußbodenbelages von Reise- und Stadtlinienbussen sowie dem Verkleben von Isolierungen und Dichtungen werden von wenigen Herstellern noch lösemittelhaltige Polychloroprenklebstoffe verwendet. Die damit pro hergestelltem Fahrzeug aus der Klebstoffanwendung freigesetzte Menge an VOC beträgt maximal etwa 24 – 28 kg. Bei der Verwendung alternativer Verfahren, kann die Emissionsmenge auf ca. 2 kg pro Fahrzeug reduziert werden. Bei einer maximalen Produktion von etwa 10 Fahrzeugen pro Tag werden die im Anhang I, 6.7 der IVU-Richtlinie angegebenen Mengenschwellen für die Verbrauchskapazität von Lösemitteln aus der Klebstoffanwendung von keinem Hersteller erreicht. Zusammen mit dem Lösemiteleinsatz aus Lacken und Reinigern, werden die Mengenschwellen in einigen Anlagen überschritten.

Emissionsminderungsmaßnahmen

Im folgenden werden prozessintegrierte Maßnahmen zur VOC-Emissionsminderung vorgestellt. Sie befinden sich derzeit im Serieneinsatz und können daher als beste verfügbare Techniken bezeichnet werden.

Einspritzen des Fußbodenbelags bei Stadtlinienbussen

Als Alternative zum eingeklebten PVC-Fußbodenbelag kann zur Vermeidung von VOC Emissionen bei Stadtlinienbussen das Fußbodenmaterial als lösemittelfreies 2 K-Polyurethan-Material aufgespritzt werden [PREISSIG 2001]. Das Verfahren bietet sich an, da der Bodenbelag neben der dekorativen Wirkung in Stadtlinienbussen vor allem mechanisch belastbar (tritt-, rutsch- und abriebfest) sein und ein Unterwandern von Feuchtigkeit in den Holzfußboden unterbinden soll. Neben der Vermeidung von Lösemitelemissionen wird auf PVC verzichtet. Der etwa doppelt so hohe Materialpreis kann durch eine einfachere Verarbeitung sowie durch eine geringere Anzahl von Reklamationen kompensiert werden [EVOBUS, SIENER 2000]. Durch die fugenlose Beschichtung des Fahrzeuginnenraumes

wird eine geschlossene Wanne gebildet, die das Eindringen von Feuchtigkeit in den Holzfußboden besser als ein verklebtes Material (Fugen) verhindert. Reparaturen von einzelnen Fehlstellen sind möglich. Ausgehärtete Reste des Dekormaterials können als Gewerbemüll entsorgt werden. Die Rutschfestigkeit des applizierten Materials ist der von PVC überlegen.

Das Applikationsverfahren besteht aus den folgenden Arbeitsgängen:

- Auf den verspachtelten und geschliffenen Fahrzeugboden wird die Dekorbeschichtung aufgespritzt. Das Material ist ein lösemittelfreies 2 K-PU Material. Die Farbgebung kann entsprechend den Kundenwünschen gestaltet werden. Die aufgetragene Schicht beträgt ca. 2 mm. Für ein 13 m langes Fahrzeug werden ca. 85 kg appliziert. Die Applikation erfolgt manuell im Airmix-Verfahren.
- Auf das noch nasse Dekormaterial kann zur speziellen Effektgebung ein Flittermaterial aufgebracht werden. Die Applikation erfolgt manuell durch Niederdruckspritzen. Zur Verkürzung der Trockenzeit wird das Material im Trockner bei etwa 80° C und einer halben Stunde ausgehärtet [PREISSIG 2001].

Ein Recycling des Materials nach der Nutzungsdauer des Fahrzeugs ist bisher noch nicht möglich, befindet sich aber in Entwicklung [EVOBUS, SIENER 2000].

Bodenbelagsverklebung mit Dispersionsklebstoffen mit Wasser als Dispersionsmittel.

Eine Verklebung von PVC-Fußbodenbelag im Fahrgastraum kann in der Fläche mit Dispersionsklebstoffen ausgeführt werden. Im Bereich der Radkästen und anderer stark gewölbter Oberflächen wird, ein lösemittelhaltiger Polychloroprenklebstoff appliziert, um den Rückstellkräften des Materials entgegenzuwirken. Das Verfahren befindet sich derzeit, bei einem Hersteller in der Anwendung [EVOBUS, SIENER 2000].

Ersatz von Dämmstoffmatten durch eine 2 k PU-Beschichtung

Die mit Lösemittelklebstoff eingeklebten Schwerstoffmatten werden durch eine 2K-PU Dämmbeschichtung ersetzt. Durch den lückenlosen Auftrag an den relevanten Stellen (keine Stoßstellen) konnte unter Beibehaltung der geforderten Akkustikwerte eine Gewichtsreduktion erreicht werden.

In Tabelle 3-2 sind am Beispiel der Firma EVOBus aktuelle angewendete Verfahren zur Einsparung von Lösemittelklebstoffen aufgeführt, die als etablierte BVT bezeichnet werden können. Den Verfahren ist die konventionelle Verfahrensweise gegenübergestellt. Durch die

Maßnahmen kann der Verbrauch von Lösemittelklebstoffen bei der Stadtbusherstellung von 15 kg auf ca. 2 kg pro Bus reduziert werden [EVOBUS, SIENER 2000].

Tabelle 4-2: Reduktion der Lösemittelklebstoffanwendungen bei EVOBUS [EVOBUS]

Anwendung	Verarbeitung konventionell	neue Verfahren	Einsparung LM-Klebstoff [t / a]*
Einbau Motorraumisolierung	Kontaktverklebung mit Lösemittelklebstoff	Alle Isolierungsteile sind mit einem selbstklebenden Acrylatklebstoff ausgerüstet.	3,2
Einbau Schwerstoffmatten	Kontaktverklebung mit Lösemittelklebstoff	2K-PU Schwerstoffbeschichtung	4
Einbau Bodenbelag - Senkrechten, Heckbank, Radläufe	Kontaktverklebung mit Lösemittelklebstoff	2K-PU Dekorbeschichtung	4,8
Einbau Klappendichtung	Verklebung von konfektionierten Dichtungen (vulkanisierte Ecken) mit Lösemittelklebstoff	Verwendung eines Endlosprofils, ausgestattet mit einem selbstklebenden Acrylatklebstoff	0,8
Einbau Kantenschutz an Radläufe	Verklebung mit PU-Überschuß und anschließende Reinigung mit Lösemittel	Kombiniertes Verkleben mit PU-Klebstoff und Acrylatklebeband	0,9

* Die Klebstoffeinsparung bezieht sich auf 1600 Buseinheiten, die im Jahr 2000 produziert wurden

Neue fortschrittliche Verfahren

Lösemittelfreie Klebstoffsysteme für die gesamte Bodenbelagsverklebung im Fahrzeuginnenraum befinden sich derzeit im Entwicklungsstadium [PREISSIG 2001].

4.3 Wohnwagen- und Wohnmobilherstellung

4.3.1 Allgemeine Informationen

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

Bei der Herstellung von Wohnwagen und Wohnmobilen werden lösemittelhaltige Klebstoffe nur noch von wenigen Herstellern für kleinflächige Kaschierungen verwendet, so dass keine IVU-Relevanz vorliegt. Alle größeren Klebeverbindungen werden über lösemittelfreie Klebstoffe hergestellt [PRIEBE 2001, KLEBEN / DICHTEN 12/1999].

4.3.2 Verwendete Prozesse und Verfahren

So werden zur Verklebung der Seitenwände und des Daches von Wohnwagen und Wohnmobilen, sowie zur Befestigung der Wassertank-Halterungen, feuchtigkeitshärtende Polyurethanklebstoffe appliziert [PRIEBE 2001]. Die Klebstoffsysteme benötigen zur Aushärtung im Vergleich zu warmhärtenden Systemen, keine zusätzliche Energiezufuhr. Der Klebstoffauftrag erfolgt manuell aus Kartuschen oder Fassanlagen. Die Sandwichelemente der Wandkonstruktion und des Daches werden mit lösemittelfreien, feuchtigkeitshärtenden 1K Polyurethanschäumen verklebt. Die Sandwichelemente bestehen aus Aluminiumblech, Polyurethanschäum und Sperrholz [PRIEBE 2001]. Fugen und Stosskanten im Außenbereich werden mittels PVC Plasticsolen abgedichtet oder mit Dichtungen kaschiert.

4.3.3 Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte

Lösemittelhaltige Klebstoffe werden nur bei wenigen Herstellern für kleine Spezialanwendungen z. B. zur Kaschierung von stark gewölbten Flächen mit Teppichboden (z.B. Sitzgestell) verwendet. Mit Ausnahme dieser Anwendungen werden in der Branche bereits beste verfügbare Techniken eingesetzt. Der Bereich wird daher nicht weiter behandelt.

4.4 Zulieferindustrie

4.4.1 Allgemeine Informationen

In der Serienfertigung von Kraftfahrzeugen hat eine starke Verlagerung von Fertigungsprozessen in die Betriebe der Zulieferindustrie stattgefunden. Hauptanwendungsgebiet für Klebstoffe sind Kaschierungen mit Stoffen von Kunststoffverkleidungsteilen für die Fahrzeuginnenausstattung. Anlagen, deren Verbrauchskapazitäten oberhalb der im Anhang I, 6.7 der IVU-Richtlinie genannten Mengenschwellen, liegen sind derzeit nicht bekannt. Aufgrund der starken Wettbewerbssituation durch Konzentrationsprozesse in der Branche, konnte der Bereich nur am Beispiel der Firma Johnson Controls untersucht werden. Andere Unternehmen waren nicht zu einer Mitarbeit bereit.

VOC-Emissionen resultieren aus der Anwendung lösemittelhaltiger Klebstoffe. In der Zulieferindustrie hat analog zur PKW-Serienfertigung, eine Substitution von Lösemittelklebstoffen stattgefunden. Wärmebeanspruchte Teile wie Kupplungs- und Bremsbeläge² werden derzeit vorwiegend mit Lösemittelklebstoffen verbunden. Auch auf Grund von hohen Anforderungen an sehr geringe Innenraumemissionen in Neufahrzeugen verarbeiten neuere Anlagen lösemittelfreie Dispersionsklebstoffe. Lösemittelhaltige Klebstoffe werden lediglich in geringem Umfang derzeit für die Fertigung von Lederverkleidungen verarbeitet [PRÖMPER 2001].

4.4.2 Verwendete technische Prozesse und Verfahren

Mit Ausnahme einiger älterer Anlagen werden reaktive Schmelzklebstoffe und wässrige Dispersionsklebstoffe verarbeitet. Die früher üblichen Polychloropren-Lösemittelklebstoffe bei der Verklebung von Polstermaterial und Kaschierungen sind durch 1K oder 2K-Dispersionsklebstoffe substituiert worden [ENDLICH 1997]. Kaschierungen von **Innenraumverkleidungen** werden mit 2K-Dispersionsklebstoffen auf Polyurethanbasis oder Schmelzklebstoffen auf Polyamid- und EVA-Basis sowie mit reaktiven Schmelzklebstoffen durchgeführt. Die Klebstoffmenge beträgt je nach Klebstoff und Materialkombination 60 – 80 g / m². In der Mengenangabe ist der Overspray enthalten.

² Die Herstellung von Kupplungs- und Bremsbelägen wird im Band Integrierter Umweltschutz bei bestimmten industriellen Tätigkeiten – Anlagen zum Imprägnieren, Bedrucken, Tränken, Beschichten – bearbeitet.

Die Verklebung der Materialien für die **Kofferraumauskleidung** erfolgt über Schmelzklebstoffe. Bei der Herstellung von **Türinnenverkleidungen** wurden Lösemittelklebstoffe vor allem durch wässrige Dispersionsklebstoffe auf Polyurethanbasis ersetzt. Die Umstellung erfolgte auf Grund der verschärften Anforderungen der PKW-Hersteller an geringere Innenraumemissionen von Neufahrzeugen und aus Gründen des Umweltschutzes [PRÖMPER 2001]. Die Klebstoffe sind warmaktivierbar, die zu fügenden Teile müssen innerhalb weniger Stunden nach der Klebstoffapplikation verklebt werden.

Klebstoffe werden überwiegend automatisch durch Roboter durch Druckluftspritzen aufgebracht. Der entstehende Overspray wird trocken in Filtermatten abgeschieden.

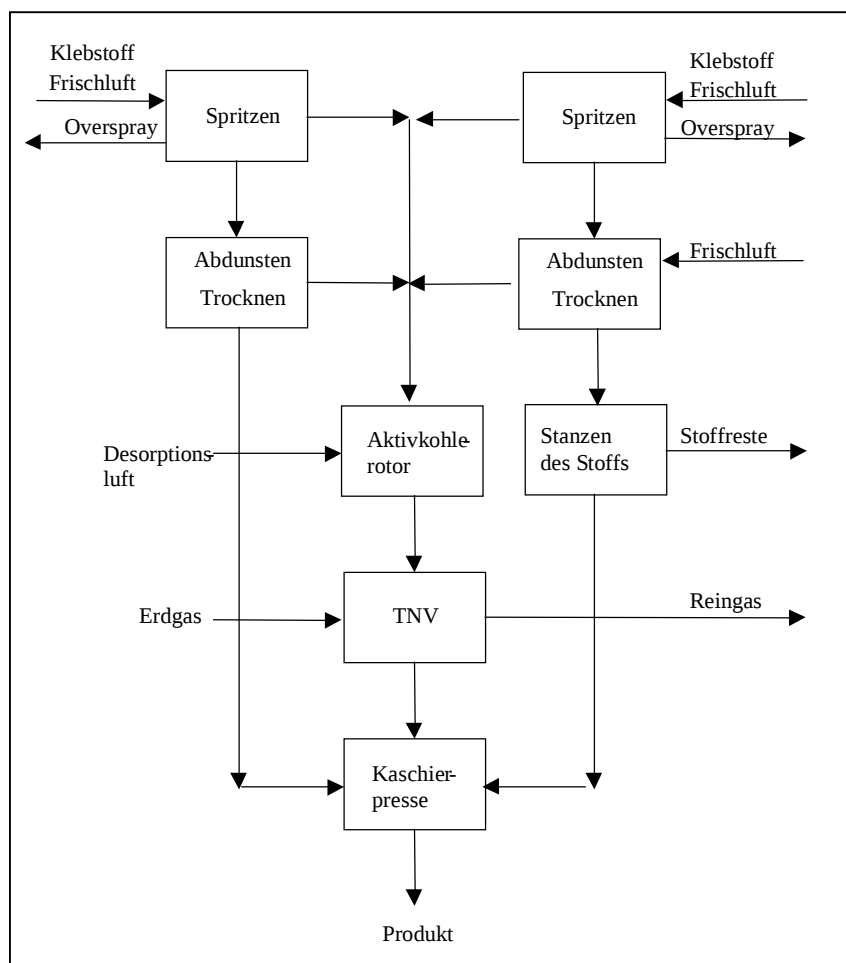


Abbildung 4-2: Herstellung von PKW-Verkleidungsteilen in konventionellen Anlagen (B-Säulenverkleidung)

In Abbildung 4-2 ist die Herstellung von PKW-Verkleidungsteilen für den Innenraum im konventionellen Verfahren dargestellt. Die mit Stoff zu kaschierenden Kunststoffeile und die Stoffbahnen werden mittels Druckluftspritzen im automatisierten Verfahren mit lösemittelhaltigem Polyurethanklebstoff mit ca. 20 Gew.% Feststoffgehalt, beschichtet.

Anschließend erfolgt die Trocknung von Stoffbahnen und Kunststoffteilen in einer beheizten Zone. Die Kaschierung erfolgt in einer Kaschierpresse. Durch den Einsatz eines Aktivkohle-Adsorptionsrades werden die VOC aus der Trockner- und Spritzkabinenabluft erfasst. Die mit VOC Desorptionsluft aufkonzentrierte Desorptionsluft, wird über eine TNV abgereinigt.

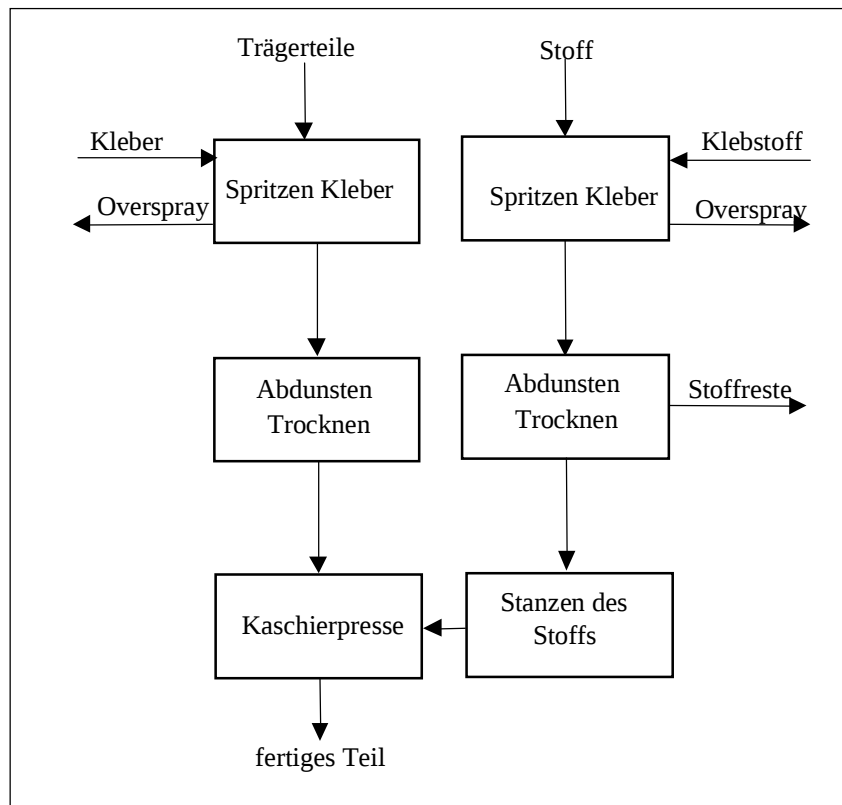


Abbildung 4-3: Fertigung von Verkleidungsteilen mit wässrigen Dispersionsklebstoffen

Abbildung 4-3 zeigt die Kaschierung von Türverkleidungen am Beispiel der Firma Johnson Controls. Als Klebstoff wird ein wässriger Dispersionsklebstoff auf Polyurethanbasis mit Isocyanathärter verwendet. Mit diesem Verfahren und Klebstoffsystem lassen sich alle gängigen Innenraumteile, mit Ausnahme von Lederausstattungen, kaschieren [Prömper 2001]. Der Klebstoffauftrag erfolgt über Druckluftspritzen. Der Overspray wird trocken abgeschieden.

Für die Herstellung von Ledersitzen und die Kaschierung von Armaturenbrettern oder Türverkleidungen mit Ledern in Kleinserienfertigung, werden lösemittelhaltige Polyurethanklebstoffe (FK: ca. 60-80 %) verarbeitet.

4.4.3 Emissionsminderungsmaßnahmen

Für die **Kaschierung von Innenraumverkleidungen** werden wässrige Dispersionsklebstoffe auf Polyurethanbasis verwendet. Dieses Klebstoffsystem kann nach dem in Abbildung 4-3 skizzierten Verfahren, mit Ausnahme von Lederkaschierungen, für alle gängigen Innenraumverkleidungen eingesetzt werden und als etablierte beste verfügbare Technik bezeichnet werden.

Für **Lederverkleidungen** lassen sich wässrige 2K Dispersionsklebstoffe auf Polyurethanbasis im (kalt-) Kontaktverfahren für ebene Flächen einsetzen. Im Kantenbereich (sog. Buggkanten) und auf stark gewölbten Flächen werden ausschließlich Lösemittelklebstoffe verarbeitet. Dies ist notwendig, um den großen Rückstellkräften des Materials entgegenzuwirken.

4.5 Herstellung von Schienenfahrzeugen

4.5.1 Allgemeine Informationen

Neue Schienenfahrzeuge werden zur Senkung der Fertigungszeiten und zur Gewichtsreduktion in einer gemischten Bauweise (Hybridbauweise) aus Metallen und Nichtmetallen hergestellt. Dabei müssen Bauteile aus unterschiedlichen Materialien miteinander kombiniert oder gefügt werden. Lösemittelhaltige Klebstoffe kommen nicht mehr zum Einsatz.

4.5.2 Verwendete technische Prozesse und Verfahren

Die Anwendungsgebiete der Klebstoffe sind an allen Teilen des Fahrzeuges zu finden. Sie reichen von Klebungen der Verkleidungsteile im Unterflurbereich (Scharniere, Gelenke) über der gesamten Kopfpartie (Frontscheibe, -verkleidung, -schürze) bis hin zu Dachanbauten. Die Anwendungen umfassen teilweise Klebungen tragender Fahrzeugrahmen und die Montage komplett vorgefertigter Seitenwandsysteme. Verklebungen von Rahmenstrukturen, Eckverbindungen und Seitenplatten werden im Container- und Waggonbau vorgenommen, ebenso wie die Beplankungen von Containern und Eindichtungen aller Art sowie der Gummidichtungen an den Spezialtransportbehältern. Für konstruktive (strukturelle) Verklebungen werden keine lösemittelhaltigen Klebstoffe verwendet, sondern es werden v.a. lösemittelfreie 1 und 2 K–Polyurethaneklebstoffe (PUR), Schmelzklebstoffe (PUR), 2 K-Silicone und Acrylate eingesetzt.

Als Fußbodenmaterialien kommt heute nur noch Gummi zum Einsatz. Das früher übliche PVC-Material wird aus Gründen des Brandschutzes nicht mehr appliziert. Für die Verklebung des Bodenbelages kommen ausschließlich lösemittelfreie Polyurethan-Dispersionen zur Anwendung. Diese Klebstoffe werden im Kontaktverfahren verarbeitet und ermöglichen das problemlose Entfernen des Bodenbelags für Instandsetzungsarbeiten [ZIEMS 2001].

Das Verfahren kann als bereits etablierte beste verfügbare Technik bezeichnet werden.

4.6 Herstellung von Flugzeugen

4.6.1 Allgemeine Informationen

In diesem Kapitel wird die Klebstoffanwendung bei der Herstellung von größeren, zivilen Verkehrsflugzeugen ab 50 Sitzplätzen, untersucht. Bei der Instandhaltung von Flugzeugen werden Klebprozesse nur in sehr geringem Umfang vorgenommen. Daher wird im Folgenden auf den Neubau von Verkehrsflugzeugen eingegangen. Die in den Klebprozesse und Vorbehandlungsschritten verarbeiteten Lösemittelmengen sind sehr gering, die Mengenschwellen der der IVU-Richtlinie werden nicht erreicht.

4.6.2 Verwendete technische Prozesse und Verfahren

Die Klebstoffanwendung bei der Herstellung von Verkehrsflugzeugen, wurde bei EADS Airbus am Standort Hamburg untersucht. Im Werk Hamburg werden pro Jahr ca. 70 Flugzeuge produziert.

Strukturelle Klebeverbindungen stehen bei der Fertigung von Verkehrsflugzeugen in starker Konkurrenz zu den Fügeverfahren Schweißen und Nieten. Rumpfsektionen und Flügelkomponenten werden verklebt. Bei neueren Konstruktionen werden wieder verstärkt mechanische Fügeverfahren angewendet [FANGMEIER 2000].

Im (strukturellen) Flugzeugbau werden heute ausschließlich lösemittelfreie oder lösemittelarme (Lösemittelgehalte $< 2\%$) Klebstoffe als warmhärtende Klebefilme oder als pastöse 2 K Epoxidklebstoffe verarbeitet [KARL 2000, KLEBEN / DICHTEN 12/1999].

Für die Klebprozesse am Rumpf sind Vorbehandlungen der zu verklebenden Oberflächen notwendig. Die Aluminiumbeplankung wird mit Chromsäure vorbehandelt und mit einem lösemittel-, und chromathaltigen Primer (10 – 20 % Feststoffgehalt) zur Haftvermittlung beschichtet. Die zu beschichtende Fläche beträgt ca. 400 m² pro Flugzeug. Es werden ca. 150 g/m² appliziert. Im Werk der Airbus Deutschland GmbH in Nordenhamm werden pro Jahr ca. 70 t, in Hamburg ca. 3 t Primer verarbeitet. [SCHRÖDER 2001, Fangmeierer 2002].

Aus technologischen Gründen, d.h. Kompatibilität zum Klebstoffsystem, Langzeitstabilität und Korrosionsresistenz, ist derzeit noch keine Substitution möglich. Alternative Primer auf Wasserbasis sind derzeit in der Erprobungsphase [SCHRÖDER 2001].

Quellenverzeichnis

[ACHATZ 2000]

ACHATZ, KAULBERG: *Audi AG, Werk Ingolstadt, Persönliche Mitteilungen Abt. Process Engineering und Umweltschutz*, September 2000

[ADHÄSION 1999]

ADHÄSION, KLEBEN UND DICHTEN,: *Die Vorteile überwiegen* Mai 1999

[ADHÄSION 1997]

ADHÄSION, KLEBEN UND DICHTEN: *Elastisches Kleben im Fahrzeugbau*, Oktober 1997

[ADHÄSION 1997]

ADHÄSION, KLEBEN UND DICHTEN: *Kleben im Schienenfahrzeugbau*, Juni 1997

[ADHÄSION 1999]

ADHÄSION KLEBEN UND DICHTEN: *Klebstoffe im Dienst der Transportindustrie*, August 1999

[ADHÄSION 1999]

ADHÄSION KLEBEN UND DICHTEN: *Langzeitbeständigkeit von strukturellen Aluminiumverklebungen*, Dezember 1999

[DECHEMA 1989]

BROCKMANN et al.: (DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR CHEMISCHES APPARATEWESEN E.V. (DECHEMA), FRANKFURT AM MAIN) *Fertigungssystem Kleben*, 1989

[ENDLICH 1997]

ENDLICH W.: *Fertigungstechnik mit Kleb- und Dichtstoffen*, Viewegverlag, Braunschweig, 1997

[EVOBUS 2000]

JANKER H. SIENER E.:*Evobus, Mannheim: Persönliche Mitteilungen*, September 2000

[FANGMEIER, MEYER-ANTHOLZ 2001]

FANGMEIER, MEYER-ANTHOLZ: *EADS Airbus: Mündliche Mitteilungen*, Januar 2001 und Januar 2002

[FUHRMANN 2000]

FUHRMANN: *Firma Kömmerling Pirmansens :Mündliche Mitteilung*, Oktober 2000

[HINTERWALDER 1991]

HINTERWALDER R.: *Strukturelles Kleben und Dichten in der Fertigung und Reparatur im Fahrzeugwesen*, Hinterwalder Verlag, 1991

[JUREK 2000]

JUREK: *MAN, Salzgitter: Persönliche Mitteilungen*, August 2000

[KARL 2000]

KARL: *Institut für Flugzeugbau, Stuttgart, Mündliche Mitteilungen Dr. Karl*, Oktober 2000.

[PRÖMPER 2001]

PRÖMPER: *Johnson Controls, Grefrath, persönliche Mitteilungen*, November 2001

[PREISSIG 2001]

PREISSIG: *Gross und Perthun Lackfabrik, Mannheim: Persönliche Mitteilungen*, März 2001

[PRIEBE 2001]

PRIEBE: *Hymer AG, Bad Waldsee: persönliche Mitteilungen*, März 2001

[RIPPERT 1998]

RIPPERT, H.: *Karosserietechnik, Konstruktion und Berechnung*, Vogel Buchverlag, 1998

[SCHRÖDER 2001]

SCHRÖDER: *EADS Airbus, Hamburg: Mitteilungen*, Januar 2001

[VDA 2000]

MÜLLER, *Verband der Automobilindustrie: Mündliche Mitteilungen* August / 2000)

[VERBAND DER KLEBSTOFFINDUSTRIE 2000]

Verband der Klebstoffindustrie: [http:// www.klebstoffe.com](http://www.klebstoffe.com), Juli 2000

5 Klebstoffanwendung in der Schuh- und Lederwarenindustrie

5.1 Schuhindustrie

Aufgrund der Branchenstruktur und den geringen verarbeiteten Mengen an lösemittelhaltigen Klebstoffen überschreiten die deutschen Anlagen zur Schuhherstellung nicht die Mengenschwellen der IVU-Richtlinie. Allerdings ist davon auszugehen, dass Anlagen der Schuhindustrie in anderen EU-Mitgliedsstaaten mit höheren Produktionsmengen möglicherweise die Mengenschwellen erreichen. Da sich in der Literatur keine hinreichenden Angaben zum europäischen Stand der Technik finden, wird in diesem Papier der Stand der Technik in der deutschen Schuhindustrie beschrieben. Untersuchungsgegenstand dieses Kapitels ist die industrielle Herstellung von Schuhen mit Lederoberteil, bei der das Kleben die wichtigste Fügetechnik ist [INDUSTRIEVERBAND KLEBSTOFFE 2000].

Wegen der Vielzahl der eingesetzten Klebstoffe, Materialien und Fügetechniken, der hohen Anforderungen an die Klebeverbindungen und der relativen Vergleichbarkeit der Anlagen ist die Schuhherstellung besonders geeignet, die verwendeten Techniken in der Klebstoffanwendung darzustellen.¹

5.1.1 Allgemeine Informationen

Ein Straßenschuh besteht aus 50 - 150 Einzelteilen. Sohlen, Absätze, Vorder- und Hinterkappen sind Zulieferteile [NECKERMANN 1987]. Die zu verklebenden Werkstoffe gehören zu unterschiedlichen Stoffklassen, wie z.B. Kunststoffe, Gewebe und Leder, die sich in ihren technologischen Eigenschaften (z.B. Oberflächenbeschaffenheit) in Folge ihrer Herkunft bzw. chemischen Vorbehandlung unterscheiden.

Bei den zu verklebenden **Kunststoffen** machen Polyurethane, Elastomere und PVC den größten Anteil aus [ADHÄSION 6/1999]. Daneben werden Polystyrol, Polyester, Gummi und Polyamid verarbeitet.

¹ Grundsätzlich ist zu vermerken, dass die Anlagen, in denen Klebstoffe verwendet werden, sich aufgrund der Heterogenität der Branchen oftmals stark unterscheiden.

1999 wurden 39.84 Mio. Paar Schuhe hergestellt, davon 31.48 Mio. mit Lederoberteil (ca. 80 % der Gesamtmenge) [HDS 1999]. Straßenschuhe (Damen- und Herrenschuhe) haben mit 51 % den größten Anteil (vgl. Abbildung 5-1).

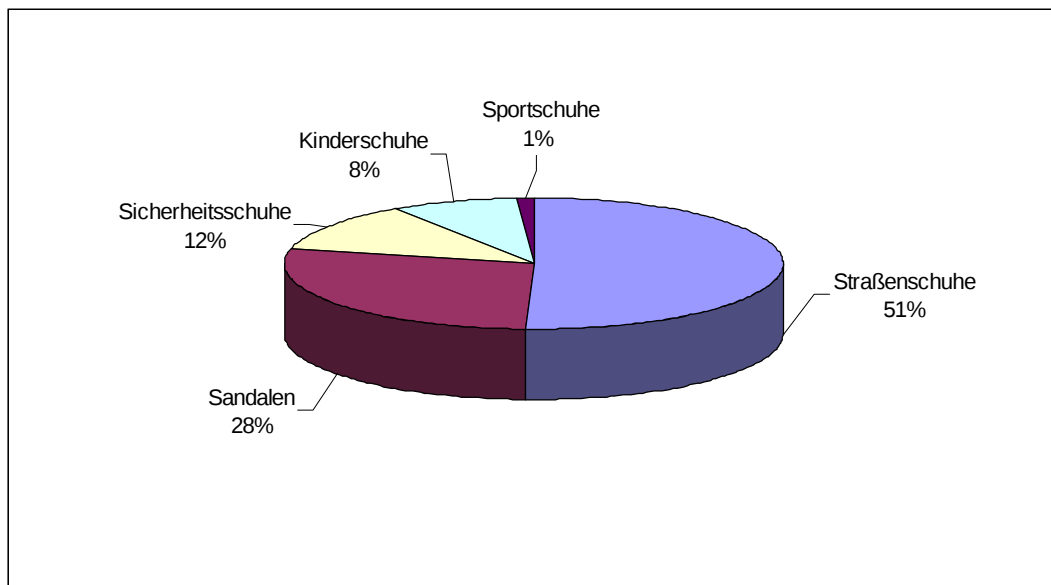


Abbildung 5-1: Anteil der 1999 in Deutschland hergestellten Schuhe [HDS 2000]

Die Schuhindustrie ist wegen der starken Marktsegmentierung und der Produktion kleiner Losgrößen überwiegend mittel- und kleinständisch strukturiert. Ausnahmen bilden einige große Hersteller (v.a. Sportschuhe), die einen größeren Markt bedienen oder Vertrieb und Herstellung gekoppelt haben [NECKERMAN 1987]. In diesen Großanlagen werden mehr als 5.000 Paar Schuhe pro Tag gefertigt.

Die deutsche Schuhindustrie verzeichnet derzeit einen **starken Rückgang der Betriebe in allen Größenklassen**. 1999 gab es in Deutschland 147 Betriebe in der Schuherstellung mit 17.779 Beschäftigten. Seit 1995 hat sich die Zahl der Beschäftigten um ca. 19 % verringert [SBW 1999]. Ursache ist die Verlagerung der Produktionskapazitäten nach Portugal, Südostasien und vor allem nach Osteuropa, um die Lohnkosten zu senken [ADHÄSION 4/1999]. Damit steigt der Anteil an Import-Schuhen [GÜNTHER 1983, NECKERMAN 1987].

5.1.2 Verwendete technische Prozesse und Verfahren

Bei der Schuhherstellung dominieren manuelle Tätigkeiten. Eine Automatisierung ist auf Grund der großen Formen- und Materialvielfalt, bedingt durch jährliche Kollektionswechsel nur in Teilbereichen des Produktionsprozesses (z.B. beim Direktbesohlen) möglich.

5.1.2.1 Klebstoffapplikation

Der Anteil lösemittelhaltiger Klebstoffe in der deutschen Schuhindustrie beträgt ca. 67 %. Dispersionsklebstoffe und Schmelzklebstoffe haben einen Anteil von ca. 16 bzw. 17 % am Gesamtverbrauch [ADHÄSION 6/1999]. Der hohe Anteil an lösemittelhaltigen Klebstoffen erklärt sich daraus, dass die verarbeiteten Klebstoffe eine hohe Anfangsfestigkeit aufweisen müssen, da häufig Materialien verklebt werden, die unter Spannung stehen. Im ausgehärteten Zustand müssen die Verbindungen ständiger mechanischer Belastung standhalten und feuchtigkeitsresistent sein. Diesen Anforderungen werden häufig nur lösemittelhaltige Klebstoffe gerecht. In Tabelle 5-1 sind die in der Schuhindustrie verarbeiteten Klebstoffe dargestellt.

Tabelle 5-1: *Klebstoffe in der Schuhindustrie*

Dispersion in Wasser	Schmelzklebstoff	Lösung in organischen Lösemitteln
Polyurethan, Natur- und Synthetikgummi	Polyester, Polyamid, Ethylvinylacetat (EVA)	Polyurethane, Polychloropren

Lösemittelhaltige Klebstoffe werden hauptsächlich im Bereich der Schaft-Sohlen Verklebung eingesetzt. Es werden PU- Klebstoffe sowie Polychloropren-Klebstoffe (Neoprenklebstoffe) verarbeitet. Die Lösemittelgehalte Polychloroprene und Polyurethane variieren zwischen 20 – 26 Gew. %. Als Lösemittel werden v.a. Ketone und Ester (z.B. Ethylacetat) verwendet. Die hohen Gehalte an organischen Lösemitteln in den Verbindungen sind notwendig, damit der Klebstoff optimal in die Lederfasern eindringen kann.

Schmelzklebstoffe basieren auf Polyester-, Polyamid-, und Ethylvinylacetat. Der Einsatz richtet sich im Wesentlichen nach den Verarbeitungsmaschinen und der Temperaturempfindlichkeit der zu verarbeitenden Werkstoffe.

Dispersionsklebstoffe sind hauptsächlich auf Polyurethan, Naturkautschuk sowie Synthesekautschuk basierende Klebstoffe mit Wasser als Dispersionsmittel. In der Schuhindustrie werden diese Produkte zusammenfassend als Latexklebstoffe bezeichnet.

Je nach Hersteller und Machart des Schuhs beträgt die bei der Herstellung verarbeitete Menge aller Klebstoffe 10 - 30 Gramm pro Schuh.

Die Applikation der **Schmelzklebstoffe** erfolgt in der Regel in den Zwick-, Stepp- und Buggmaschinen automatisch. Der Klebstoff wird mittels einer Auftragsdüse auf das zu verarbeitende Material aufgebracht und den Maschinen in Granulat- oder Strangform zugeführt. Die beste Klebstoffausnutzung hat das Tauchen von Vorder- und Hinterkappen. **Dispersionsklebstoffe** werden im allgemeinen manuell durch Sprühverfahren appliziert. **Lösemittelhaltige Klebstoffe** werden manuell mit dem Pinsel oder durch Streichautomaten aufgebracht. Für die Applikation größerer Mengen sind Arbeitsplätze und Streichautomaten mit einer Abluftabsaugung ausgestattet.

5.1.2.2 Produktionsprozesse

Obwohl die Klebprozesse je nach Automatisierungsgrad und je nach Hersteller variieren, gibt es Übereinstimmungen im Fertigungsablauf und den verarbeiteten Klebstoffarten. Die Verwendung der einzelnen Klebstoffarten ist abhängig von der Machart (Bauart) und dem Material der produzierten Schuhe. In der Abbildung 5-2 ist der Prozessablauf für die Produktion von Schuhen z.B. in der Ago-Bauart skizziert. Im Folgenden werden die Produktionsprozesse mit Klebstoffanwendung beschrieben.

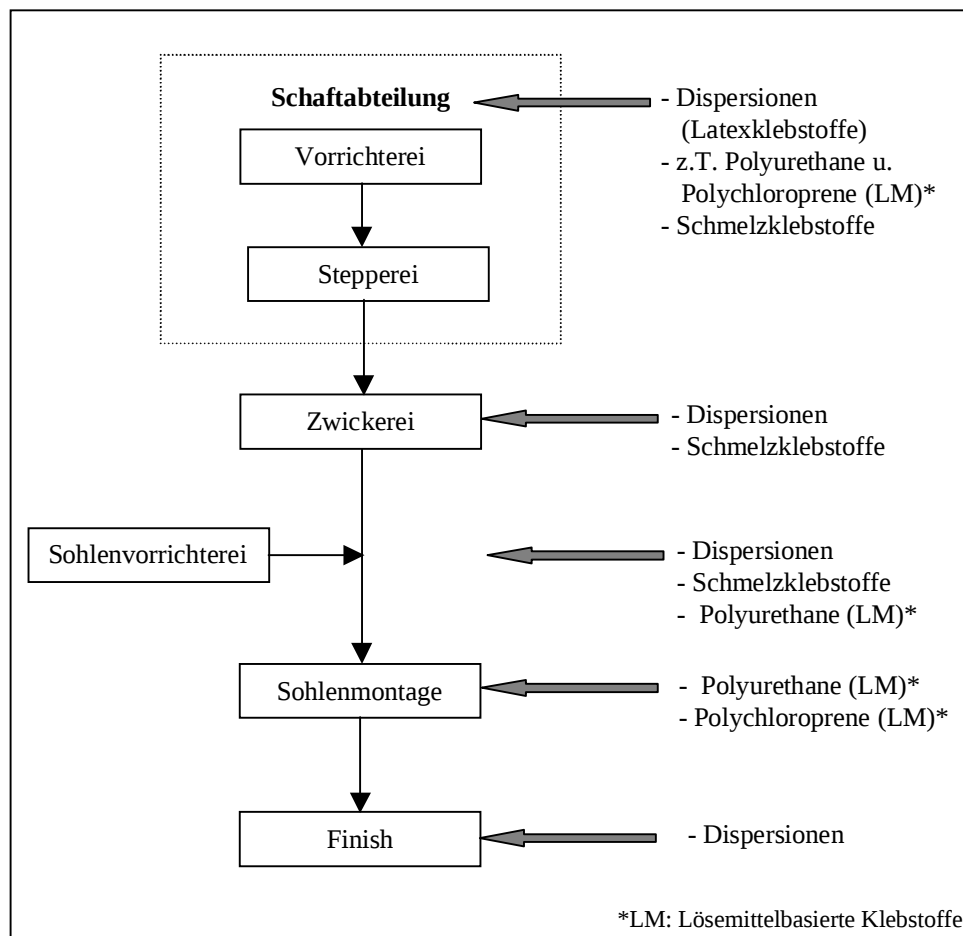


Abbildung 5-2: Prozessablauf der Schuhherstellung

5.1.2.2.1 Schaftabteilung

Die Schaftabteilung besteht aus den der Vorrichterei und der Stepperei. In der Schaftabteilung werden die Einzelteile des Schuh-Schaftes sowie Futtermaterialien durch Kleben und Nähen (dem Steppen) zum Schaft verbunden. In der Vorrichterei werden dazu die Teile vor dem Steppen mit Hilfe von Klebstoffen fixiert. Die Applikation der Klebstoffe erfolgt manuell mit dem Pinsel und bei den Dispersionsklebstoffen im Naßklebverfahren mit Hilfe von Sprühpistolen. Die Latex-Klebstoffe werden zur Klebung von Schaft und Kragenpolstern sowie zum Einkleben von Blatt- und Quartierfutter und für Kaschierarbeiten im Bereich der Futterstoffe appliziert. Schaft- und Kragenpolster werden von einigen Herstellern auch über lösemittelfreie Selbstklebebeschichtungen befestigt. Daneben werden Verstärkungsteile, aus bereits beim Zulieferer mit Polyester-, EVA, Polyurethan- oder Polyamid-Schmelzklebstoff beschichteten Textilien, durch Heißpressen verklebt. Zur Verstärkung von einfach

ausgeführten Haltenähten im Schaftbereich wird eine zusätzliche Befestigung der Teile mit lösemittelhaltigen Polyurethan-Klebstoffen vorgenommen. Im allgemeinen können kleine Untertritte (Überlappungsbereiche) nur mit Polyurethan-Klebstoffen gefügt werden. Eine Verwendung von lösemittelfreien Dispersionsklebstoffen ist für die Anwendung nur dann möglich, wenn die zu fügenden Teile über großflächige Untertritte verklebt werden können, da die Dispersionsklebstoffe eine geringere Klebehaftung und damit eine geringere Zugfestigkeit aufweisen. EVA- und Polyamidschmelzklebstoffe, die beim Buggen² zum Einsatz kommen, werden von den Buggmaschinen automatisch aufgetragen. Schichten aus Schmelzklebstoffen werden bei einigen Herstellern auch als Vorderkappen zur Aussteifung appliziert. Der Klebstoff wird je nach Maschinentyp als Granulat oder in Strangform zugeführt.

Am Gesamtklebstoffverbrauch der Schaftabteilung haben Dispersionsklebstoffe (Latex) einen Anteil von etwa 70 %, Schmelzklebstoffe von ca. 20 % und lösemittelhaltige Klebstoffe von ca. 10 %.

5.1.2.2.2 Sohlenvorrichterei

In der Sohlenvorrichterei werden Absätze, Fußbetten, Decksohlen und Brandsohlen für den späteren Einbau in der Sohlenmontage mit Leder oder Stoff etc. kaschiert. Die Befestigung erfolgt mit Dispersions- oder Schmelzklebstoffen oder bei stark gewölbten Oberflächen über lösemittelhaltige Polyurethan-Klebstoffe im Kaltkontaktverfahren (Applikation auf beide zu fügenden Teile, Ablüften des Lösemittels und Fügen der Teile). Die Klebstoffe werden manuell mit dem Pinsel oder mittels Streichautomaten aufgetragen. Um die Haftung der Klebstoffschicht auf dem Sohlenmaterial zu gewährleisten, wird z.B. bei Sohlen aus Gummi eine Vorbehandlung mit einer Halogenierlösung vorgenommen. Die Applikation von Halogenierlösung und Klebstoff erfolgt manuell unter einem Abzug. Anschließend werden die Sohlen mit einer Klebstoffschicht, dem sog. Vorstrich auf Basis von Polychloroprenklebstoffen, beschichtet und getrocknet.

Die Sohlenvorrichterei arbeitet fast ausschließlich mit lösemittelhaltigen Polyurethan-Klebstoffen.

² Umklappen und Befestigen von Lederkanten im Schaftbereich.

5.1.2.2.3 Zwickerei

Der in der Schaftabteilung fertiggestellte Schaft wird in der Zwickerei mit Brand- und teilweise mit der Laufsohle versehen. Die Arbeitsschritte sind von der Bauart der Schuhe abhängig. In Bezug auf die Klebstoffanwendung müssen die traditionelle **Ago-Machart**, die **Strobel-Machart** und die **Zwiegenähte-Machart** unterschieden werden. Unabhängig von der Schuh-Machart werden in der Montage Verstärkungskappen (z.B. Vorderschaftkappen) aus mit Schmelzklebstoff beschichteten Textilien durch Heißpressen verklebt. Teilweise werden die Kappen auch vom Schuhhersteller in Latexklebstoff getaucht und die angetrocknete Klebstoffschicht vor dem Einbau der Kappen durch Wärme reaktiviert. *In der Zwickerei haben Schmelzklebstoffe und Dispersionen jeweils einen Anteil von ca. 50 % am Gesamtklebstoffverbrauch. Lösemittelhaltige Klebstoffe werden nur teilweise bei wasserfesten Schuhen der Ago-Bauart verarbeitet.*

Ago-Bauart

Bei der Ago-Bauart wird die Verbindung von Brandsohle und Schaft über das sog. Zwicken hergestellt. Beim Zwicken wird der untere Schafttrand (Zwickeinschlag) zum Inneren des Schuhs umgeschlagen und an der Brandsohle befestigt. Zum Zwicken wird der Schaft stramm und faltenlos über den Leisten (Werkzeug in Fußform zur Formgebung des Schaftes) gezogen, bis er die Form des Leistens angenommen hat. Dann verbindet die Zwickmaschine über den Zwickeinschlag die Brandsohle mit dem Schaft. In der Zwickmaschine erfolgt die Applikation von Schmelzklebstoffen (Polyester- und Polyamid-Klebstoff). Im Spitzenbereich wird Polyesterklebstoff verarbeitet. Im seitlichen Spitzenbereich wird über Polyamidklebstoff verklebt, da dieses Material eine höhere Flexibilität aufweist. Der Fersenbereich kann über verschiedene Fügeverfahren an der Brandsohle befestigt (gezwickt) werden. Kinderschuhe werden nach dem vorab beschriebenen Verfahren gezwickt. Im Herren- und Damenschuhbereich wird das Fersenzwicken z. T. klebstofffrei über Nageln realisiert. Wird die Verbindung nicht durch Nägel (sog. Tacks) hergestellt, kommen zur Verbindung des Bereiches zwischen Ferse und Spitze PU-Klebstoffe zum Einsatz. Abschließend wird die Laufsohle mit der Brandsohle verklebt oder aus Polyurethan, PVC oder TR-Kunststoff angespritzt.

Bei Schuhen, die zum Schutz vor Wasser mit einer atmungsaktiven Membran ausgerüstet sind, wird eine spezielle, wasserundurchlässige Brandsohle verbaut. Bei diesen Schuhen wird der Zwischenraum zwischen Brandsohle und Sohle mit lösemittelhaltigen PU-Klebstoff abgedichtet, um das Eindringen von Wasser in den Schuh zu verhindern.

Zwiegenähte Bauart

Bei der zwiegenähten Bauweise wird der Zwickeinschlag des Schaftes an der Brandsohle durch Nähte befestigt. Die Verbindung erfolgt ohne Klebstoffapplikation. Diese Machart wird z.B. bei Moccasins oder Bergstiefeln angewandt. An die mit dem Schaft vernähte Brandsohle wird analog zur Ago-Machart in der Sohlenmontage die Laufsohle befestigt.

Strobel-Bauart

Bei der Strobel-Bauweise wird der Schaft an eine textile Brandsohle mit der sog. Strobelnaht befestigt. Die Verbindung erfolgt klebstofffrei. Die Befestigung der Laufsohle an die textile Brandsohle erfolgt analog zur Ago- Machart. Die Strobel-Machart findet z.B. Anwendung bei Sport- und Treckingschuhen.

5.1.2.2.4 Sohlenmontage

Zur Befestigung der Laufsohle an der Brandsohle kommen das Klebverfahren und das sog. Direktanspritzverfahren zum Einsatz.

Bei der Befestigung der Sohle durch Klebstoffe wird die Laufsohle mit Hilfe von lösemittelhaltigen PU-Klebstoffen nach dem Warm-Kontaktklebverfahren an der Brandsohle befestigt. Dabei werden lösemittelhaltige Klebstoffe als Polyurethan-Klebstoffe (2K) und als sog. Polychloropren-Klebstoffe (2K) verarbeitet. Die PU-Klebstoffe dominieren mit ca. 95 % am Gesamtverbrauch in der Sohlenmontage. Ferner werden Polychloroprene für spezielle Anwendungen, wie dem Einkleben von Polyester-Zwischenkeilen in Sohlen, eingesetzt.

Für die Verbindung von Schaft und Sohle im **Klebeverfahren** wird der Schaft mit einem Polyurethan- Klebstoff (2K, ca. 10 % Festkörperanteil) eingestrichen (sog. Vorstrich). Der Vorstrich dringt in das Leder ein und dient der Verfestigung der Lederfasern. Nach dem Ablüften des Vorstrichs erfolgt ein erneuter Anstrich (sog. Hauptstrich) mit Polyurethan-Klebstoff (2K). Die Verbindung von Schaft und Sohle erfolgt im Warmaktivier-Verfahren, d.h. Sohle und Schaft werden zur Reaktivierung des getrockneten Klebstoffes erwärmt und heiß verpresst. Der Sohlenvorstrich erfolgt beim Sohlenhersteller (bei Gummi und EVA-Sohlen) mit Polychloropren- bzw. Polyurethanklebstoffen.

Die für die Sohlenklebung eingesetzten lösemittelhaltigen Polyurethan-Klebstoffe zeichnen sich durch eine größere Fettbeständigkeit, höhere Hydrolysebeständigkeit und höhere Klebfestigkeiten im Vergleich zu Dispersionsklebstoffen und lösemittelhaltigen Polychloroprenklebstoffen aus. Die Polyurethanklebstoffe weisen bei der Verarbeitung den Vorteil auf, dass sie keine begrenzte offene Zeit haben, innerhalb derer sie verarbeitet werden

müssen. Bei der Sohlenmontage im Klebverfahren werden ausschließlich lösemittelhaltige Polyurethan- und Polychloroprenklebstoffe verarbeitet.

Beim Verfahren der **Direktbesohlung** wird an die verschiedenen Modelle (Strobelbauweise und Ago) die Sohle klebstofffrei angespritzt. Zur Direktbesohlung verwenden die Schuhhersteller als Materialien Polyurethan, PVC sowie TR-Kunststoff. Der aufgeleistete Schaft wird in einer Sohlen-Hohlform umschlossen, die unter hohem Druck mit dem verflüssigten Sohlenmaterial gefüllt wird. Das flüssige Sohlenmaterial verbindet sich beim Abkühlen fest mit dem Schaft. Das Verfahren selbst arbeitet lösemittelfrei. Lediglich zum Reinigen der Sohlenformen der Anspritzmaschine werden organische Lösemittel eingesetzt.

5.1.2.2.5 Finish

Im Finish werden die Fußbetten eingeklebt. Hauptsächlich werden Dispersionsklebstoffe (Latex-Klebstoffe) verarbeitet. Bei Sandalen wird die Decksohle mit lösemittelhaltigen PU-Klebstoffen eingeklebt.

5.1.3 Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte

5.1.3.1 Emissionen in die Atmosphäre

Nach der Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 1999/13/EG zur Begrenzung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen, beträgt der Grenzwert für die Gesamtemissionen 25 g VOC pro vollständigem Paar Schuhe.

Für die Herstellung eines Paares Straßenschuhe mittlerer Größe (42 bzw. 8) werden derzeit je nach Hersteller zwischen 20 – 60 g Klebstoffe verarbeitet. Bei einem mittleren Anteil an lösemittelhaltigen Polyurethan- und Polychloroprenklebstoffen an den verarbeiteten Klebstoffen von 67 % werden ca. 13,5 - 40 g lösemittelhaltige Klebstoffe mit einem Lösemittelgehalt von 75 – 80 % pro Paar eingesetzt. Die emittierte VOC-Menge beträgt damit ca. 10 g bis 35 g pro Paar. Der Lösemiteleinsatz in Großanlagen kann daher mit ca. 11 – 39 t pro Jahr abgeschätzt werden. Aufgrund der Branchenstruktur werden die in der IVU-Richtlinie angegebenen Mengenschwellen nicht von den in Deutschland vorhandenen Anlagen erreicht.

Eine Abluftbehandlung erfolgt aufgrund der handwerklichen Fertigungsprozesse i.a. nicht. Bei der Klebstoffanwendung in der Schuherstellung fallen **keine relevanten**

Abwasserströme an, da die Abscheidung des Oversprays bei der Sprühapplikation trocken erfolgt.

5.1.3.2 Abfälle

Für den Bereich der Schuhherstellung fallen Abfälle im wesentlichen als Klebstoffreste an:

- Klebstoffmasse aus der Reinigung der Applikationsmaschinen
- Überalterte Klebstoffe, Klebstoffmassen, deren Tropfzeit bei der Verarbeitung überschritten wurde. Insgesamt werden etwa 10 % der eingekauften lösemittelhaltigen Klebstoffe als Abfall entsorgt.
- Tropfmengen bei Pinselapplikation und Overspray bei Sprühapplikation
- Klebstoffgebinde: Noch reaktionsfähige Klebstoffe oder deren Komponenten sind als Sondermüll zu entsorgen. Eintrocknete Klebstoffreste werden als gewerblicher Hausmüll entsorgt, die Gebinde werden z.T. vom Hersteller zurückgenommen und wiederverwendet oder als Weißblechschrott verwertet.

Die Klebstoffart entscheidet über die in Gebinden als Restanhaftung verbleibenden Klebstoffmengen. Schmelzklebstoffe in Granulatform sind nahezu vollständig zu entnehmen. In einem 200 l Fass mit hochviskosem Klebstoff ohne Restentleerung verbleiben ca. 5% der Klebstoffmenge [ENDRIß, HESSLAND 1997]. Die Abfallmenge lässt sich effektiv mit Restentleerungsvorrichtungen verringern.

Ein höherer Automatisierungsgrad bei der Applikation führt nicht automatisch zu einer Verringerung der Abfallmenge. Auch hochautomatisierte Prozesse können große Abfallmengen generieren, da beispielsweise das Sprühen von Klebstoffen in Folge des Oversprays mehr Abfälle als andere Applikationsverfahren erzeugt [ENDRIß, HESSLAND 1997].

5.1.4 Emissionsminderungsmaßnahmen

Nachfolgend sind die potentiellen Möglichkeiten zur primären Emissionsminderung beschrieben:

- Einsatz lösemittelfreier Klebstoffe
- Einsatz klebstofffreier Besohlvverfahren

-
- Einsatz von Abluftbehandlungsanlagen als TNV, Bio-Filtration oder Adsorption
 - Verbrauchsgünstige Klebstoffsysteme, Restentleerungsvorrichtungen, Inliner

Einsatz von lösemittelfreien Klebstoffsystemen

Das Haupteinsatzgebiet der lösemittelhaltigen Klebstoffe liegt in der Verklebung von Schaft und Sohle. Als Alternative zum Verkleben der Laufsohle auf der Brandsohle mit lösemittelhaltigen Klebstoffen können auch lösemittelfreie Dispersionsklebstoffen auf Polyurethanbasis oder reaktive Schmelzklebstoffe verarbeitet werden.

Die wässrigen Dispersionsklebstoffe basieren v.a. auf Polyurethanen. Sie sind in der Verarbeitung schwieriger zu handhaben, als die konventionellen Systeme. Ein Nachteil der Dispersionsklebstoffe ist deren, im Vergleich zu den lösemittelhaltigen Produkten, geringere Verarbeitungsspanne. Eine längere Lagerung der mit Dispersionsklebstoffen beschichteten Teile ist nicht möglich. Die Teile müssen unmittelbar nach der Klebstoffapplikation gefügt werden, da die Klebstoffe nach dem Verdunsten des Lösemittels nicht oder nur schlecht, wie die Polyurethan- und Polychloroprenklebstoffe durch Wärme aktiviert und verklebt werden können. Eine sichere Verklebung mit den Dispersionsklebstoffen ist nur für bestimmte Materialkombinationen gewährleistet. Die vielfältigen Materialkombinationen, die im modischen Schuhbereich verarbeitet werden, lassen daher einen Einsatz der Dispersionsklebstoffe bisher nicht zu [ZIEGLER 2000]. Probleme bei der Anwendung von Dispersionsklebstoffen liegen in deren geringer Anfangsfestigkeit und schlechter Oberflächenpenetration. Hohe Anfangsfestigkeiten sind aber bei der Verklebung von Sohlen und gekrümmten Oberflächen notwendig, um die Rückstellkräfte der zu fügenden Materialien zu überwinden [ADHÄSION 6/1999].

Der Auftrag von wässrigen Dispersionen mittels Pinsel ist problematisch, da bei manuellem und automatisiertem Auftrag Pinsel schnell eintrocknen und häufig ausgetauscht werden müssen und sich damit der Arbeitsaufwand erhöht [WOLTER 2000]. Dispersionsklebstoffe lassen sich daher am besten über Sprühverfahren applizieren. Im Sprühauftrag kann ein deutlicher Zeitvorteil gegenüber dem manuellen Pinselauftrag liegen. Der Einsatz von wässrigen Dispersionsklebstoffen ist aber bei Auftrag zu großer Klebstoffschichten mit längeren Trocknungszeiten, auch bei Einsatz von Trockneranlagen (Wärmeschränke oder Trockentunnel) verbunden, da die Verdunstungsenthalpie im Gegensatz zu den organischen Lösemitteln größer ist und Wasser langsamer als organische Lösemittel durch das Schuhmaterial diffundiert [ADHÄSION 6/1999]. Die Taktzeiten sind dann trotz Anwendung von Trockneranlagen je nach Klebstoff und zu verklebenden Materialien 30 – 40 Minuten länger als bei Lösemittelklebstoffen [URBAN 2000]. Die Dispersionsklebstoffe müssen, um

Nachteile zu vermeiden, sehr exakt appliziert werden. Trotz der angesprochenen Nachteile werden Dispersionsstoffe auf Polyurethan- und Polychloroprenbasis in der Großserienproduktion neben den klassischen Anwendungen von einigen Herstellern als Hauptklebstoffe (z.B. Fa. Nike) eingesetzt. Neben den ökologischen und gesundheitlichen Vorteilen weisen die Dispersionsklebstoffe nach dem Abtrocknen eine größere Endfestigkeit als lösemittelhaltige Klebstoffe auf [ADHÄSION 6/1999]. Bei Verwendung von Dispersionsklebstoffen verringert sich außerdem durch den etwa drei mal größeren Feststoffgehalt der Produkte der Lageraufwand.

Für den Bereich des Sohlenklebens können auch reaktive Schmelzklebstoffe verarbeitet werden [2]. Diese Systeme verlangen eine genaue Einhaltung von Prozessparametern wie pH-Wert, Temperatur und Feuchtigkeitsgehalt und sind daher problematisch zu verarbeiten [ADHÄSION 6/1999]. Reaktive Schmelzklebstoffe werden als lösemittelfreie Alternative bereits in der Sportschuhherstellung verarbeitet [URBAN 2000]. Sie können zur Verklebung von Schaft und Sohle verarbeitet werden, da im Sportschuhbereich ebene, (nicht gewölbte) Sohlen verarbeitet werden. Für diese Sohlenform ist der Auftrag von reaktiven Schmelzklebstoffen mittels Walzen wirtschaftlich.

Klebstofffreie Besohlung

Direktbesohlung

Die Direktbesohlung durch verflüssigtes PVC oder Polyurethan ist auf Grund des hohen Investitionsbedarfs (geschlossene automatisierte Anlage und Formen) und der Betriebskosten nur für Großserien einsetzbar. Ein weiterer Nachteil ist die eingeschränkte Bandbreite der möglichen Sohlenformen und Farben. Daher findet das Direktbesohlen vor allem bei Sport- und Kinderschuhherstellern Anwendung [ADHÄSION 4/1999].

Nähverfahren

Bei den Nähverfahren wird die Brandsohle mit der Laufsohle von Hand vernäht. Die Befestigung der Sohle erfolgt hierbei ohne den Einsatz von Klebstoffen.

Einsatz von Abluftbehandlungsanlagen

Thermische Abluftbehandlungsanlagen werden auf Grund der geringen Lösemittelkonzentrationen der Abluftströme nicht eingesetzt [HDS 2000]. Für die Großserienproduktion lassen sich Biofiltrationsverfahren einsetzen [ESIG 2000]. Diese sind hinsichtlich der Betriebskosten aufgrund der geringen Lösemittelkonzentrationen im Abluftstrom günstiger als die thermische Nachverbrennung [ESIG 2000].

Abluftreinigungsanlagen sind in Deutschland derzeit nicht im Einsatz.

5.1.5 Auswahl von Emissionsminderungsmaßnahmen

- Substitution der lösemittelhaltigen Klebstoffe in der Schaft-Sohlenverklebung durch Schmelz- oder Dispersionsklebstoffe. Aufwendigere Verarbeitung- d.h. die Randbedingungen müssen genau eingehalten werden. Im Modeschuhbereich ist die Anwendung von Dispersionsklebstoffen wegen der Vielzahl der verarbeiteten Materialien bisher nicht möglich. Bei Einsatz von wässrigen Dispersionsklebstoffen sind längere Taktzeiten und Investitionen durch zusätzliche Trocknungsanlagen nötig.
- Direktanspritzen der Sohlen anstatt der Ago- oder zwiegenähten Machart. Das Verfahren ist im Modeschuhbereich wegen der eingeschränkten Sohlenformen und Farben nur begrenzt anwendbar.
- Erfassung von lösemittelhaltigen Abluftströmen und Abgasreinigung durch biologische Verfahren, (v. a auch zur Minderung von Geruchsemissionen).

5.1.6 Neue fortschrittliche Verfahren

Für das Verkleben von Schaft und Sohle sind bei verschiedenen Klebstoffherstellern lösemittelhaltige Klebstoffsysteme mit einem Feststoffgehalt von ca. 60 %, sowie Sohlenvorstriche mit Wasser als Trägermedium in der Entwicklungsphase. Die Produkte werden derzeit noch nicht in der Fertigung eingesetzt [FOBRO HELMITIN 2000].

5.2 Lederwarenindustrie

Erzeugnisse der Lederwarenindustrie sind Taschen, Reiseartikel, Brieftaschen und andere Kleinlederwaren. Wie Schuhe sind Lederwaren Modeartikel und werden nicht nur aus Leder, sondern einer Vielzahl von Materialien hergestellt. Bei der Herstellung kommen verschiedenen Näh- und Klebverfahren zum Einsatz.

In Deutschland arbeiteten 1999 300 Betriebe in der Herstellung von Lederwaren mit 5960 Beschäftigten. Davon hatten ca. 100 Betriebe mehr als 20 Beschäftigte. Die Branche besteht vorwiegend aus Handwerksbetrieben. 1995 waren mit der Herstellung von Lederwaren noch 150 Betriebe beschäftigt. Der Rückgang der Betriebe ist teilweise durch eine Abwanderung ins kostengünstigere Ausland begründet. Der 1999 erzielte Umsatz betrug 226,8 Mio. EUR [KLOOS 2000]. (Hauptlieferland für Lederwaren ist zur Zeit China mit einem Gesamtwert der 1999 hergestellten Waren von ca. 1,12 Mrd. EUR).

Aus Arbeitsschutzgründen hat in den letzten Jahren eine Umstellung der Klebstoffsysteme v.a. auf wässrige Dispersionsklebstoffe stattgefunden. Die Umstellung erfolgte, um Investitionen in Anlagen zur Abluftabsaugung zu vermeiden [KLOOS 2000]. Der Sektor wird nicht weiter untersucht.

Quellenverzeichnis

[ADÄSION 4 / 1999]

ADHÄSION, KLEBEN UND DICHTEN: *Wo drückt der deutschen Schuhindustrie der Schuh?* April 1999

[ADÄSION 6 / 1999]

ADHÄSION, KLEBEN UND DICHTEN: *Dispersionsklebstoffe in der Schuhindustrie*, Juni 1999

[ENDRIß, HESSLAND 1997]

ENDRIß, HESSLAND: *Abfallvermeidung in der industriellen Klebetechnik*, 1997

[ESIG 2000]

EUROPEAN SOLVANTS INDUSTRIE GROUP (<http://www.esig.org>), 10 / 2000

[FOBRO HELMITIN 2000]

FIRMA FOBRO HELMITIN, PIRMASENS: *Mündliche Auskunft PLW-Messe*, Oktober 2000

[GÜNTHER 1983]

GÜNTHER: *Planungsprozesse in kleinen und mittleren Unternehmen am Beispiel der Investitions- und Finanzplanung der Schuhindustrie*, Dissertation, Universität Hamburg 1983

[HDS 2000]

Hauptverband der Deutschen Schuhindustrie HDS, *Geschäftsbericht für das Jahr 1999*, 2000

[KLOOS 2000]

BVLK- BERUFSVERBAND LEDERWAREN UND KUNSTOFFERZEUGNISSE E. V. (www.lederwarenverband.de): *Mündliche Mitteilungen*, BLVK; stellv. Geschäftsführer Hr. Kloos, November 2000

[NECKERMANN 1987]

NECKERMANN, WESSELS: *Struktur und Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Schuhindustrie in der Bundesrepublik Deutschland*, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Beiträge zur Strukturforschung, Heft 104, Dunker & Humblot, Berlin, 1987

[SBW 2000]

STATISTISCHES BUNDESAMT WIESBADEN, 1999: *Produzierendes Gewerbe*, Fachserie 4, WZ 93, 2000

[URBAN 2000]

FIRMA TIVOLI: *Mündliche Mitteilungen*, Herr Urban, Oktober 2000

[INDUSTRIEVERBAND KLEBSTOFFE 2000]

INDUSTRIEVERBAND KLEBSTOFFE e.V.(<http://www.klebstoffe.com>), Oktober 2000

[WOLTER 2000]

FIRMA LLOYD, SUHLINGEN, *Mündliche Mitteilungen*, Herr Wolter, Oktober 2000

[ZIEGLER 2000]

FIRMA PETER KAISER, PIRMASENS,; *Mündliche Mitteilungen*, Herr Ziegler September 2000

6 Holz- und Möbelindustrie

Der Einsatz von lösemittelhaltigen Klebstoffen wurde bei der industriellen Herstellung von Holzwerkstoffen und Möbeln weitgehend durch lösemittelfreie Klebstoffe substituiert. Der Stand der Technik wird nachfolgend beschrieben.

6.1 Herstellung von Holzwerkstoffen

6.1.1 Allgemeine Informationen

Als Holzwerkstoffe werden aus Holzpartikeln hergestellte, plattenförmige Werkstoffe bezeichnet [DUBE 1999]. Die für die Möbelproduktion wichtigsten Werkstoffe sind:

- Spanplatten
- Sperrhölzer
- Hartfaserplatten
- MDF-Platten (Medium Density Fiberboard)

Für die Herstellung von Möbeln ist die Spanplatte wichtigstes Material. Spanplatten werden neben der Möbelherstellung in der Bauindustrie im Innen- und Außenbereich verbaut. Sperrhölzer werden an Stelle von Spanplatten verarbeitet, wenn höhere mechanische Belastungen auftreten. Hartfaserplatten werden als Kastenrückwände und Schubladenrückwände im Möbelbau eingesetzt. Da der Sektor große Mengen an Klebstoffen verbraucht, werden die angewendeten Verfahren beschrieben, um den Stand der Technik in Deutschland zu dokumentieren. In Deutschland werden zur Produktion von Holzwerkstoffen keine lösemittelhaltigen Klebstoffe verarbeitet.

1998 wurden in Deutschland 8,75 Mio. m³ Spanplatten [HVDH 2000], 407.450 m³ Sperrhölzer und 2,4 Mio. m³ Faserplatten hergestellt. 1999 arbeiteten 134 Betriebe mit 20.203 Beschäftigten in der Herstellung von Holzwerkstoffen in Deutschland [SBW 1999].

6.1.2 Verwendete technische Prozesse und Verfahren

Zur Herstellung von Holzwerkstoffen werden lösemittelfreie Klebstoffe aus der Gruppe der Polyadditions-, Polymerisations- und Polykondensationsklebstoffe verarbeitet. Als Polykondensationsklebstoffe zur Herstellung von Holzwerkstoffen werden Kunstharze auf Basis von Harnstoff-Formaldehydharzen (UF), Melamin-Harnstoff-Formaldehydharz (MUF), Phenol-Formaldehydharz (PF) und Polyurethan sowie Dimethylmethandiisocyanat (PMDI) verarbeitet. Diese Formulierungen werden z.T. auch als Klebstoff-Mischungen appliziert.

Bei der Verwendung von **formaldehydhaltigen Harzen** kann es, in Folge unvollständiger Kondensation des Formaldehyds mit den Harzbestandteilen der Klebstoffe, zu Emissionen kommen, die dann über einen längeren Zeitraum aus dem Produkt entweichen [DUBE 1999, ZEPPENFELD 1991]. Zur Verringerung dieser Emissionen sind verschiedene Verfahren im Einsatz. Den Klebstoffen werden z.B. Harnstoff, Melamin oder Dicyandiamid als Formaldehydfänger zugesetzt. Bei der Aushärtung des Klebstoffes nicht umgesetztes Formaldehyd kann auch durch Zufuhr von Ammoniak gebunden werden (unter Bildung von Hexamethylethylentetramin) [DUBE 1999]. Das Formaldehyd ist in den Klebstoffformulierungen kein Lösemittel, da es chemisch umgesetzt wird.

Dispersionsklebstoffe auf Polyvinylacetat-Basis werden in sehr geringem Umfang z.B. bei der Sperrholzherstellung verarbeitet. Polyvinylacetatdispersionen enthalten als Dispersionsmittel Wasser. Um die Mindestfilmtemperatur herabzusetzen und das Einarbeiten von Zusatzstoffen zu erleichtern, sind in den Formulierungen geringe Lösemittelmengen (z.B. Ethylacetat, Aromaten, Ketone, Alkohole) enthalten. Der Gehalt liegt meist unter 1 Gew. %, kann aber maximal 6 Gew. % betragen [SBW 1999]. Auf Grund dieser geringen Lösemittelgehaltes können die Polyvinylacetat-Dispersionen als lösemittelarm eingestuft werden.

Die Herstellung von Holzwerkstoffen erfolgt somit fast vollständig mit lösemittelfreien Klebstoffen. Die verwendeten Klebeverfahren sind im Folgenden nur knapp dargestellt.

Spanplattenherstellung

Spanplatten sind der wichtigste Werkstoff der Möbelherstellung. Spanplatten sind plattenförmige Holzwerkstoffe, die durch Verpressen und Verkleben von Holzteilen oder holzartigen Faserstoffen hergestellt werden. Sie werden mit chemisch reagierenden, lösemittelfreien Klebstoffen aus der Gruppe der Polykondensate und Polymerisate (Polyisocyanat) verklebt. Spanplatten haben meist einen 3-schichtigen Aufbau: Die Deckschichten bestehen aus feineren Spänen mit einem höheren Klebstoffgehalt, um eine geschlossene Oberfläche herzustellen, während die Mittellage aus gröberen Partikeln besteht.

Spanplatten für die Verwendung im Innenbereich (Innenklimabedingungen) werden mit Kunstharzen auf Basis von Harnstoff- oder Harnstoff-Melamin-Formaldehydharzen (UF- oder MUF-Harze) hergestellt, da hier die Anforderungen an die Feuchtigkeitsbeständigkeit geringer sind [ZEPPENFELD 1991].

Spanplatten für den Verbau im Außenbereich (Außenklimabedingungen), für die höhere Anforderungen an die Feuchtigkeitsbeständigkeit bestehen, werden mit Phenolharzen auf Basis von Phenol-Formaldehyd-Harzen (PF-Harze) hergestellt. Als formaldehydfreie Alternative zu den PF-Harzen werden auch (lösemittelfreie) Polyisocyanate eingesetzt.

Die genannten Klebstoffe werden sowohl getrennt als auch in Mischungen angewendet. Phenol-Formaldehyd-Harzen (PF-Harze) oder Isocyanate finden Anwendung, wenn eine höhere Feuchtigkeitsresistenz gefordert ist [SBW 1999].

Technisch wichtigste Klebstoffe bei der Spanplattenherstellung sind mit einem Anteil von 85 % Harnstoff-Formaldehydharze [DUBE 1999]. Die verwendeten Kunstharze können durch die Wahl des Härters und dessen Dosierung den technologischen Verhältnissen, wie z.B. Spanfeuchtigkeit, Presszeit und Presstemperatur, angepasst werden [BÖHME 1975].

Hartfaserplatten

Ausgangsstoffe für die Herstellung von Hartfaserplatten sind Holzreste, Rinden und Einjahrespflanzen mit einem hohen Faseranteil. Die zu verarbeitenden Bestandteile werden mit Wasserdampf plastifiziert und in Heißpressen zu Platten geformt. Der Plastifizierungsvorgang setzt holzeigene Bindemittel frei, so dass die Herstellung der Platten auch ohne Zusatz von Klebstoffen möglich ist. Die Verwendung von Klebstoffen hängt von den verwendeten Ausgangsmaterialien ab. Als Klebstoffe für Hartfaser- und Spanplatten werden für den Außenbereich PF-Harze eingesetzt, für die Innenanwendung werden UF- und MUF-Harze verarbeitet [BÖHME 1975].

MDF- Platten

Ausgangsmaterialien für die Herstellung von MDF-Platten sind Holzschnitzel, die unter Druck und hoher Temperatur gedämpft und zerfasert werden. Dem erzeugten Material werden Harze zugesetzt. Anschließend werden Matten erzeugt und gepresst. Verwendete Klebstoffe sind PF- und UF- Harze [SBW 1999].

Sperrholzplatten

Sperrholz wird nach DIN 68708 aus mindestens drei Furnierholzlagen, deren Faserrichtungen sich im Winkel von 90° kreuzen, durch Verkleben hergestellt. Die einzelnen Furnierstreifen

werden an den Fugen mittels UF-Harzen und PF-Harzen verleimt. Zur Verklebung der Mittellage werden bei Stabmittellagen neben Harnstoffharzen z.T. Polyvinylacetat-Dispersionen eingesetzt [BÖHME 1975]. Die Außenlagen der Sperrhölzer werden mit PF-, UF oder UMF-Harzen entsprechend den technologischen Anforderungen des Sperrholzes verklebt.

Hochdruck-Schichtpreßstoffplatten (HPL)

Hochdruck-Schichtpreßstoffplatten bestehen aus aufeinandergeschichteten, mit Reaktionsharzen (auf Phenolharzbasis) imprägnierten Hartpapierbahnen, die eine Kernschicht bilden, dem Dekorpapier und dem abschließenden klaren Melaminharzgetränkten Overlaypapier [BEUTH 1989]. HPL werden für besonders beanspruchte Oberflächen, wie z. B. Tisch- und Küchenplatten verarbeitet.

6.1.3 Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte

Bei der Herstellung von Holzwerkstoffen werden in Deutschland lösemittelfreie Klebstoffsysteme, vorwiegend auf Basis von Formaldehydharzen, verarbeitet. Eine Ausnahme bildet die Verleimung der Mittellagen von Sperrhölzern, bei der teilweise Polyvinylacetat-Dispersionen eingesetzt werden. Diese Verbindungen können geringe Mengen an organischen Lösemitteln enthalten.

6.2 Möbelherstellung

Lösemittelhaltige Klebstoffe sind in Deutschland für die meisten Anwendungen durch Dispersionsklebstoffe, Schmelzklebstoffe oder reaktive Systeme ersetzt worden. Da aber vergleichsweise große Mengen an Klebstoffen verarbeitet werden und im europäischen Ausland noch teilweise mit lösemittelhaltigen Produkten gefertigt wird, ist im Folgenden der Stand der Technik in Deutschland beschrieben.

6.2.1 Allgemeine Informationen

Im Möbelbau werden Klebstoffe vorwiegend bei der industriellen Herstellung von Holz-Küchenmöbeln, Sitzmöbeln (mit Gestell vorwiegend aus Holz), Holzmöbel für Büros, Holzmöbel für Läden, Holzmöbel für Schlaf-, Ess-, und Wohnzimmer verarbeitet.

1998 wurden in Deutschland 9,42 Mio. Sitzmöbel mit Gestell aus Holz, 6,14 Mio. Büromöbel aus Holz, 25,9 Mio. Holz-Küchenmöbel (einschließlich Holzmöbeln für Küchenelemente), 0,52 Mio. Holzmöbel für Läden und 22,63 Mio. Holzmöbel für Schlaf-, Eß- und

Wohnzimmer hergestellt. In der Möbelherstellung arbeiteten 1999 836 Betriebe in Deutschland mit insgesamt 165.500 Beschäftigten [HVDH 2000].

Der Einsatz von Klebstoffen wird auf der Basis von drei Unternehmen, in denen Küchenmöbeln, Kastenmöbeln und Matratzen hergestellt werden, beschrieben.

6.2.2 Verwendete technische Prozesse und Verfahren

Holzwerkstoffe werden zur Verarbeitung im Möbelbau teilweise mit Folien beschichtet, um ihnen bestimmte technische oder optische Eigenschaften zu verleihen. Für die Oberflächenveredelung werden Harnstoff-Formaldehydharze, Polyvinylacetat-Dispersionsklebstoffe (PVAc), Acrylate, Polyurethan-Klebstoffe, Epoxidharze, Polyethylen, Schmelzklebstoffe (EVA), Phenolharze und in sehr geringem Umfang lösemittelhaltige Neoprenklebstoffe verarbeitet.

Die bei der Möbelherstellung eingesetzten Klebstoffe sind aufgrund der verschiedenen zu verbindenden Materialien (Holz, Glas, Kunststoffe, Stoffe, Weichschaummaterialien etc.) sehr vielfältig. Die einzelnen Klebstoffe lassen sich nicht den Möbelarten zuordnen. Aus diesem Grund erfolgt die Beschreibung nach den im Möbelbau verarbeiteten Klebstoffen. Lösemittelhaltige Klebstoffe sind inzwischen fast vollständig durch lösemittelfreie Systeme ersetzt und werden nur noch bei wenigen Spezialanwendungen verarbeitet.

6.2.2.1 Klebstoffe

1K Polyvinylacetat-Dispersionsklebstoffe (PVAc)

PVAc sind aus anwendungstechnischen Gründen die wichtigsten Klebstoffe für den Möbelbau, da sie sich mit verschiedenen Applikationsverfahren auftragen lassen und auch ohne Wärmeeinwirkung aushärten. Das Dispersionsmittel ist Wasser. Die Klebstoffe werden für Montageverklebungen im Innenbereich und z. T. für Fenster bevorzugt [DUBE 1999]. Dekorative Schichtpreßstoffplatten und Umleimer (Kantenverklebungen) werden überwiegend mit PVAc auf Holzwerkstoffen geklebt.

Für Funierarbeiten werden PVAc in geringem Umfang eingesetzt, wenn die Verwendung von formaldehydhaltigen Leimen vermieden werden soll.

Soll die Klebefuge höheren Temperaturen standhalten, können den Klebstoffen Alkohole, Ester, Ketone zugesetzt werden [ZEPPENFELD 1991]. Die Lösemittel bewirken eine bessere Filmbildung durch Quellen oder Lösen der PVAc-Partikel. Der Lösemittelgehalt dieser Formulierungen beträgt meist weniger als 1 Gew. %, in Sonderfällen bis max. 6 Gew. %.

2K PVAc-Dispersionsklebstoffe

2K PVAc-Dispersionen enthalten Stoffe zur Vernetzung, um eine höhere Wasserbeständigkeit und Wärmebeständigkeit der Verklebung zu erreichen. Als zweite Komponente sind den Verbindungen Harze (Phenol-, Resorcin-, Melaminharze oder Isocyanate) zugesetzt. Die Klebstoffe werden für feuchtigkeitsbeanspruchte Klebungen bei Küchen- und Badezimmermöbeln verarbeitet.

Ethylen-Vinylacetat-Dispersionsklebstoffe (EVA)

Ethylen-Vinylacetat-Dispersionsklebstoffe werden zum Kaschieren von Holzwerkstoffen mit PVC-Folien verwendet. Als Dispersionsmittel enthalten die Formulierungen Wasser. Der Feststoffgehalt liegt zwischen 45 – 60 %.

Aminoplast- und Phenoplastharze (UF, MF)

Die Aminoplasten UF und MF werden für das Verkleben von Furnieren, Dekor- und Grundierfolien und in geringem Umfang für das Verkleben von Schichtpressstoffplatten auf Holz verwendet. Die Aminoplaste sind preisgünstiger als die PVAc Dispersionen, härten schneller aus und ergeben temperaturbeständigere Verklebungen [DUBE 1999]. Phenolharze werden für witterungsbeständige Verklebungen eingesetzt. Die Harzklebstoffe können als kalt-, warm-, oder heißhärtende Klebstoffe eingesetzt werden [ZEPPENFELD 1991].

Schmelzklebstoffe

Im Möbelbau werden Schmelzklebstoffe auf Basis von Ethylen-Vinylacetat-Copolymeren, Polyurethanen und Polyamiden verarbeitet. Die Schmelzklebstoffe werden zur Kantenverklebung von Spanplatten, zur Korpusverklebung, und auch zum Aufbringen von Kantenmaterial auf Duroplastbasis als sog. Polyesterkante und Melaminharzkante sowie für Montageverklebungen und zum Furnieren von Breitflächen eingesetzt [DUBE 1999], [ZEPPENFELD 1991].

Schmelzklebstoffe werden in stark zunehmenden Maß auch für die Weichschaumverklebung bei Polstermöbeln an Stelle von lösemittelhaltigen Produkten verarbeitet. Als Schmelzklebstoffe werden dafür thermoplastischer Kautschuk, Ethylenvinylacetat Copolymeren, Polyester und Polyamid (EVA) verwendet [ADHÄSION 2000]. Die Wärmefestigkeit der Schmelzklebstoffe reicht bis ca. 80 °C. Die Schmelzklebstoffe weisen eine gute Adhäsion mit hoher Filmfestigkeit und gute Festigkeit auch bei tiefen Temperaturen auf. Durch die schnelle Verfestigung der Klebstoffschicht beim Erkalten erlaubt der Einsatz von Schmelzklebstoffen eine hohe Taktgeschwindigkeit. Die Schmelzklebstoffe werden als Granulate, Patronen oder als Pulver verarbeitet [ZEPPENFELD 1991].

Polychloropren-Lösemittelklebstoffe

Polychloroprenklebstoffe werden als Kleblacke oder als Dispersionen verarbeitet. Kleblacke können zum Verkleben von Holz auf lackierten Oberflächen eingesetzt werden, da der Kleblack die Lackoberfläche anlost und eine gute Haftung ausbildet. Der Feststoffgehalt der Kleblacke beträgt 10 – 20 %. Als Lösemittel für die Klebstoffe werden aus technischen Gründen Gemische aus Toluol, Xylol, Aceton, Methylacetat, Ethylacetat, Butylacetat und Cyclohexan verwendet [DUBE 1999]. Diese Verbindungen werden heute vorwiegend im handwerklichen Bereich angewendet.

Polyurethan-Lösemittelklebstoffe (PUR)

Polyurethanklebstoffe werden mit einem Härter auf Isocyanatbasis zur zusätzlichen Vernetzung, die die Klebfestigkeit verbessert, verarbeitet. PUR-Klebstoffe werden als Ummantelungsklebstoffe für PVC-Folien auf Möbelprofilen oder Gehäusen (Lautsprecherboxen usw.) verarbeitet [DUBE 1999].

Styrol-Butadien-Styrol-Klebstoffe (SBS)

Lösemittelhaltige SBS-Klebstoffe (Styrol-Kautschuk-Klebstoffe), Schmelzklebstoffe und Dispersionsklebstoffe werden zum Verkleben von Polstermaterialien bei der Polstermöbelherstellung verarbeitet. Die Anwendung dieser Klebstoffe ist stark rückläufig [ADHÄSION 2000].

6.2.2.2 Klebstoffapplikation

Für den Klebstoffauftrag kommen manuelle und automatisierte Auftragsverfahren zum Einsatz. Manuelle Auftragsverfahren sind der Klebstoffauftrag mit Pinsel, Spachtel, Spritzpistole, sowie Tauchen. Maschinell werden Gießverfahren, Spritzen und Tauchen sowie das Streichen angewendet [ZEPPENFELD 1991].

6.2.2.3 Matratzenherstellung

Da in der Vergangenheit große Mengen Lösemittelklebstoffe zum Verkleben von Schaumlagen unterschiedlicher Härte, dem Verkleben der Schaumelemente für Federkern-Matratzen, und bei der Fertigung von Matratzen mit Überlängen verarbeitet wurden, wird im folgenden näher auf den Herstellungsprozess eingegangen. In Deutschland werden Matratzen heute ohne die Verwendung lösemittelhaltiger Klebstoffe und Aufschäumungsmittel produziert.

1999 wurden in Deutschland ca. 1,52 Mio. Matratzen von 85 Unternehmen hergestellt.

Verwendete technische Prozesse und Verfahren (Fa. Dunlopp, Werk Hanau)

Matratzen werden aus Latex oder PU-Schäumen gefertigt. Bei der Verwendung von Latex besteht das Material überwiegend aus SyntheselateX, dem bis zu 15 % (unter bestimmten Voraussetzungen auch mehr) Naturlatex beigemischt sind [VWI VERBAND 2001, LAUBACH 2001].

Polyurethan-Schäume werden aus Polyolen und Isocyanaten über das Isocyanat-Polyadditionsverfahren hergestellt. Nach den verwendeten Rohstoffen lassen sich Polyetherpolyole und Polyesterpolyole unterscheiden. Für die Matratzenfertigung werden v.a. Polyetherpolyole verwendet.

Die Aufschäumung der Materialien erfolgt heute in Deutschland ausschließlich ohne FCKW (Methylenchlorid). Latexschäume werden in Mischeinrichtungen mit Luft aufgeschäumt.

PU-Matratzenherstellung

Die Komponenten Polyol und Isocyanat werden in eine gekühlte, schließbare Hohlform gegossen. Durch die Entwicklung von Kohlendioxid bei der Reaktion von Isocyanaten mit sich bildendem Wasser wird der Schaumstoff erzeugt. Aus den in der Hohlform erzeugten Schaumblöcken werden die Formteile z. B. für die Herstellung von Sitzmöbeln oder Matratzen geschnitten. Einzelne Schaumblöcke werden mit lösemittelfreien Schmelzklebstoffen verklebt.

Latexmatratzen-Herstellung

Diese Matratzen werden durch Aufschäumen von vulkanisierbaren Latexmischungen durch Gelieren des Schaums und anschließender Vulkanisation erzeugt. Dazu wird ein 60 %-iger Latex mit Beschleuniger, Schwefel, Antioxidant, Seife und je nach Rezeptur noch weiteren Bestandteilen gemischt und auf das mehrfache Volumen aufgeschäumt und Zinkoxid als Geliermittel zugegeben. Das Aufschäumen von Latex erfolgt entweder in diskontinuierlichen Mischern oder in kontinuierlich arbeitenden Schaummaschinen. Der flüssige Schaum wird in eine Form gegeben und koaguliert innerhalb von 5 - 10 Minuten. Nach dem Schließen der Form wird diese zur Vulkanisation über Dampf oder Hochfrequenzheizung erwärmt. Nach dem Vulkanisieren wird die Matratze gewaschen und getrocknet. Nach dem Abkühlen der Form wird in diese ein Trennmittel (Wachs) auf Wasserbasis appliziert und der Vorgang wird wiederholt.

Da in der industriellen Fertigung nur Matratzen in genormten Größen produziert werden können, werden Sondergrößen aus mehreren Schaumteilen zugeschnitten und neu verklebt. Schmelzklebstoffe für die Verklebung von Matratzenmaterialien basieren auf amorphen

Polyalphaolefinen (PAO) oder SBS [ADHÄSION 2000, VWI VERBAND 2001, LAUBACH 2001]. Bei der Herstellung von Federkernmatratzen werden die einzelnen Bauteile über Dispersionsklebstoffe miteinander verbunden. Im gesamten Herstellungsprozess von Matratzen werden heute keine VOC-haltigen Produkte mehr verwendet [VWI VERBAND 2001, LAUBACH 2001].

Der Herstellungsprozess für Matratzen aus Latex ist in Abbildung 6-1 dargestellt. Im Ansatzbehälter wird das Latexmaterial angemischt und im nachfolgenden Prozessschritt im Mischer mit Hilfe von Luft aufgeschäumt und dann in die geheizte Matratzenform gefüllt, in der die Gelisierung und Vulkanisation erfolgt. Die Matratze wird nach Entnahme aus der Form durch Waschen vom Trennmittel befreit und getrocknet. Lösemittelfreie Latex- oder Polyurethan-Klebstoffe werden bei der Aufarbeitung von Fehlstellen in sehr geringen Mengen appliziert [LAUBACH 2001].

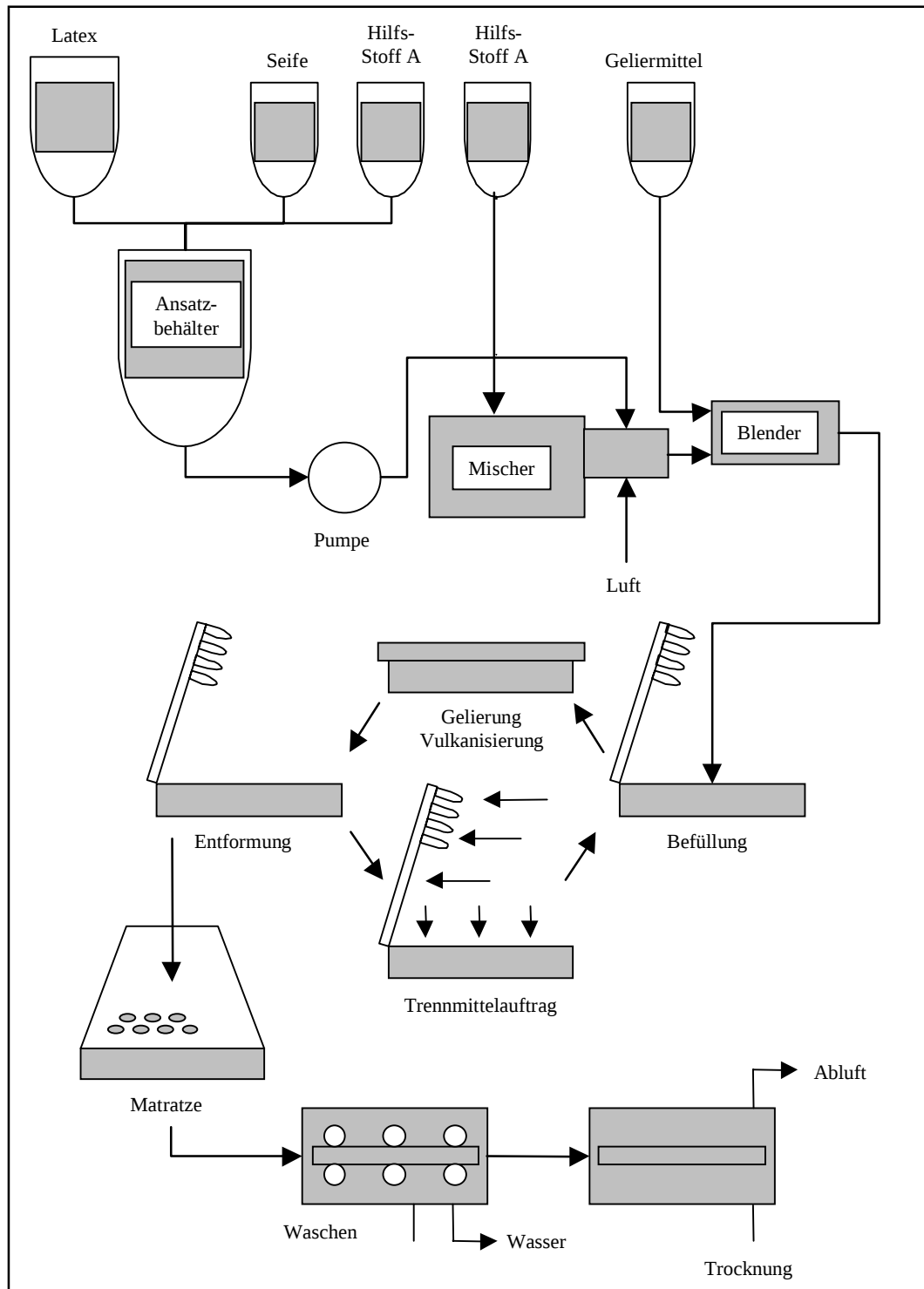


Abbildung 6-1: Matratzenherstellung mit Latex nach dem Dunlopp-Verfahren

6.2.2.4 Herstellung von Kastenmöbeln

Die Herstellung von Kastenmöbeln wurde bei der Schiedermöbel Wortmann GmbH untersucht. Bei der Herstellung von Kastenmöbeln (Regale, Vitrinen, Schränke, Anbaumöbel etc.) werden ausschließlich lösemittelfreie Klebstoffe verarbeitet. Hauptanwendungsgebiete der Klebstoffe sind Kaschierungen von Span- und MDF-Platten mit Furnieren oder Dekorfolien. Bei der Montage der Möbel werden hauptsächlich mechanische Befestigungen angewendet. Lösemittelfreie Kaltleime auf Harnstoffbasis werden bei der Montage in sehr geringem Umfang appliziert.

Bei der Flächenkaschierung von Holzwerkstoffen mit Furnieren und Dekorfolien werden Harnstoff-Formaldehydleime (Kaurit) appliziert. Die Kaschierung erfolgt automatisch. Der Klebstoff wird mit Walzenauftragswerken auf die Oberfläche der Holzwerkstoffe aufgetragen. Das Auftragsgewicht beträgt dabei etwa 5 g/m² bei der Folienkaschierung und ca. 20 g/m² für das Verkleben von Furnieren. Die Anlagen werden mit Wasser gereinigt. Schmalkanten werden automatisch über Schmelzklebstoffe mit Folie oder Furnier beschichtet [SCHIEDER 2001].

6.2.2.5 Herstellung von Küchen- und Badezimmermöbeln

Die Herstellung von Küchenmöbeln wurde bei der Firma ALNO AG, in Pfullendorf untersucht. Wie auch bei der Produktion von Kastenmöbeln, werden bei der Herstellung von Küchen- und Badezimmermöbeln heute keine lösemittelhaltigen Klebstoffe mehr appliziert [VWI 2001]. Die Verklebung von Folien auf Holzwerkstoffen, erfolgt über Dispersionsklebstoffe auf PUR-Basis. Diese Klebstoffe werden automatisch über Druckluftspritzen appliziert. Vor dem Fügen werden die Klebstoffe über Wärme aktiviert. Für die Kantenverklebung kommen lösemittelfreie Schmelzklebstoffe zum Einsatz.

Küchenarbeitsplatten werden von den Herstellern als Zulieferteil angekauft. Bei der Herstellung dieser Arbeitsplatten werden lösemittelfreie Harze auf Formaldehyd-Harnstoffbasis verarbeitet.

6.2.3 Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte

Aufgrund der Vielfalt der hergestellten Produkte wurden die Bereiche Herstellung von Matratzen, Kastenmöbeln und Küchenmöbeln untersucht. Lösemittelhaltige Klebstoffe werden in keinem dieser Bereiche in größerem Umfang eingesetzt.

6.2.4 Emissionsminderungsmaßnahmen

Die untersuchten Bereiche weisen in Hinblick auf den Klebstoffeinsatz kein Potential zur Emissionsminderung von VOC auf. Die in der Industrie verwendeten Verfahren können als etablierte BVT bezeichnet werden.

Quellenverzeichnis

[ADHÄSION 2000]

ADHÄSION, KLEBEN UND DICHTEN: *KLEBSTOFFSYSTEME IN DER POLSTERMÖBELINDUSTRIE*, OKT.2000

[BEUTH 1989]

BEUTH: *DIN-TASCHENBUCH MÖBEL*, DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V., 1989

[BMU]

BMU, VCI: *GEMEINSAMER ABSCHLUßBERICHT ZUM DIALOG DES BMU UND DES VCI ZU UMWELTZIELEN AM BEISPIEL DER VOC*, 1997

[BÖHME 1975]

BÖHME: *WERKSTOFFE AUS HOLZ UND ANDERE WERKSTOFFE DER HOLZINDUSTRIE*, 1975

[DUBE 1999]

DUBE, TÖTSCH: *Erfassung und Bewertung von Schadstoffen in der Raumluft, Werkstoffe für den Möbel- und Innenausbau*, Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Karlsruhe, 1999

[FINK 2001]

FINK, A.: FIRMA ALNO AKTIENGESELLSCHAFT, PFULLENDORF, *PERSÖNLICHE MITTEILUNGEN*, OKTOBER 2001

[HVDH 2000]

HVDH: HAUPTVERBAND DER DEUTSCHEN HOLZ UND KUNSTSTOFFE VERARBEITENDEN INDUSTRIE UND VERWANDTER INDUSTRIEZWEIGE E.V., VERBAND DER DEUTSCHEN MÖBELINDUSTRIE E.V: *PRODUKTIONSBERICHT*, SEPTEMBER 2000

[LAUBACH 2001]

HERR LAUBACH UND HERR DR. WOHLFAHRT ; DUNLOP, HANAU: *PERSÖNLICHE MITTEILUNGEN*, 16.FEB.2001

[NUTSCH 1999]

NUTSCH: *Handbuch der Konstruktion: Möbel und Einbauschränke*, Deutsche Verlags-Anstalt Stuttgart, 1999

[SCHIEDER 2001]

SCHIEDER WOHNMÖBEL GMBH, SCHIEDER: *PERSÖNLICHE MITTEILUNGEN* HERR KRAIN UND HERR SCHOUWENAARS , 4.MAI.2001

[SBW 1999]

SB: STATISTISCHES BUNDESAMT: *PRODUZIERENDES GEWERBE*, FACHSERIE 4, REIHE 3.1:

PRODUKTIONSDATEN 1997-1999, 1999

[VWI VERBAND 2001]

VWI VERBAND DER POLYURETHAN-WEICHSCHAUMINDUSTRIE E.V.: *VWI-INFORMATIONSLATT*,
FEBRUAR 2001

[ZEPPENFELD 1991]

ZEPPENFELD: *KLEBSTOFFE IN DER HOLZ- UND MÖBELINDUSTRIE*, FACHBUCHVERLAG LEIPZIG, 1991

7 Industrielle Montagevorgänge

Montagevorgänge mit Klebstoffanwendung finden sich im Maschinenbau und der Elektrotechnik.

7.1 Elektrotechnik

Durch die weiter fortschreitende Miniaturisierung kommt dem Kleben in der Elektrotechnik, als materialschonende Verbindungstechnik, eine besondere Bedeutung zu. Die Klebstoffanwendungen lassen sich in Fixierkleben und Kontaktkleben einteilen. Das Fixierkleben dient der Befestigung von Bauelementen auf Leiterplatten. Elektronische Bausteine werden meist mit UV- härtenden Klebstoffen befestigt [HEßLAND 2001, KLEE 2001]. In vielen Kontakt-Klebstoffanwendungen wurde das Löten durch die Verwendung von isotrop und anisotrop leitenden Klebstoffen ersetzt. Leitfähige Klebstoffe basieren auf UV- oder wärmehärtenden Epoxidharzen, Silikonen, Acrylaten und Polyamiden, denen leitfähige Partikel beigemischt sind.

Die in der Elektrotechnik eingesetzten Klebstoffe sind lösemittelfreie Systeme [KLEBEN-DICHTEN 2000]. Es werden v.a. UV-vernetzende Epoxidharze, Cyanacrylate, Silikone und anaerob härtende Verbindungen verarbeitet [HEßLAND 2001, KLEE 2001, KLEBEN_DICHTEN 2000]. Nach Angaben der Herstellerverbände werden auch bei der Herstellung von Elektrogeräten keine lösemittelhaltigen Klebstoffe verarbeitet. Für den Bereich liegt daher keine IVU-Relevanz vor.

7.2 Maschinenbau

Im Maschinenbau sind Schweißen und Schrauben die dominierenden Fügeverfahren, da überwiegend metallische Werkstoffe verbunden werden. Die verarbeiteten Klebstoffmengen sind gering. Es werden lösemittelfreie Klebstoffsysteme wie Epoxidharze, Cyanacrylate, Silikonkautschuk sowie anaerobe Klebstoffe eingesetzt. Für den Bereich liegt keine IVU-Relevanz vor [ENDLICH 1997].

Quellenverzeichnis

[HEßLAND 2001]

HEßLAND A.: Industrieverband Klebstoffe, *mündliche Mitteilungen* (Herr von Halteren und Herrn Heßland), 2001, 2002

[ENDLICH 1997]

ENDLICH, W.: *Neue Entwicklungen in der Kleb- und Dichttechnik*, Vulkan- Verlag, Essen, (1997)

[KLEBEN-DICHTEN 2000]

KLEBEN-DICHTEN, ADHÄSION: Elektrisch leitfähige Klebtechniken im Vergleich, (4 / 2000), Klebstoffe in der Elektrotechnik, (2 / 2000), Marktübersicht Reaktionsklebstoffe in der Elektrotechnik (11 / 2000)

[KLEE 2001]

KLEE : ZVII, Herstellerverband der Elektrogeräte, *mündliche Mitteilungen Herr Klee*, 2001