

Umweltbundesamt, Berlin

## **Integrierter Umweltschutz bei bestimmten industriellen Tätigkeiten**

- Anlagen zur Oberflächenbehandlung durch Appretieren,  
Imprägnieren, Bedrucken, Tränken, Beschichten -

Teilband I

"Appretieren, Imprägnieren, Tränken, Beschichten"

Endbericht

Oktober 2002



Diese Studie wurde im Auftrag des Umweltbundesamtes  
im Rahmen des Umweltforschungsplanes  
Förderungskennzeichen 200 94 324  
erstellt und mit Bundesmitteln finanziert.

# Inhaltsverzeichnis

1. Hintergrund und Zielsetzung .....	1
2. Grundlagen und Methodik .....	3
2.1. Rechtsgrundlagen .....	3
2.2. Relevante Lösemittel und Mengenschwellen .....	9
2.3. Begriffsbestimmung der Tätigkeiten aus Punkt 6.7, Anhang I der IVU-Richtlinie.....	10
2.4. Abgrenzung zu anderen UBA-Vorhaben.....	11
2.5. Relevante Oberflächenbehandlungsverfahren .....	12
2.6. Datengrundlage.....	13
2.7. Aufbau der Kapitel und angewandte Untersuchungsmethodik.....	14
2.8. Grundsätzliche methodische Probleme und Lösungsansätze.....	17
3. Produktion von Schleifmitteln.....	19
3.1. Allgemeine Informationen.....	19
3.2. Angewandte Verfahren und Techniken .....	29
3.3. Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte.....	37
3.4. Ermittlung der BVT-Kandidaten .....	40
3.5. Auswahl und Empfehlungen bezüglich bester verfügbarer Techniken .....	43
3.6. Neue fortschrittliche Verfahren .....	44
4. Reifenherstellung.....	47
4.1. Allgemeine Informationen.....	47
4.2. Angewandte Verfahren und Techniken .....	50
4.3. Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte.....	61

4.4.	Ermittlung der BVT-Kandidaten .....	64
4.5.	Auswahl und Empfehlungen bezüglich bester verfügbarer Techniken .....	66
4.6.	Neue fortschrittliche Verfahren .....	68
<b>5.</b>	<b>Produktion von Lackdrähten.....</b>	<b>71</b>
5.1.	Allgemeine Informationen.....	71
5.2.	Angewandte Verfahren und Techniken .....	74
5.3.	Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte.....	84
5.4.	Ermittlung der BVT-Kandidaten .....	86
5.5.	Auswahl und Empfehlungen bezüglich bester verfügbarer Techniken .....	87
5.6.	Neue fortschrittliche Verfahren .....	90
<b>6.</b>	<b>Herstellung von Reibbelägen.....</b>	<b>93</b>
6.1.	Allgemeine Informationen.....	93
6.2.	Angewandte Verfahren und Techniken .....	95
6.3.	Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte.....	102
6.4.	Ermittlung der BVT-Kandidaten .....	105
6.5.	Auswahl und Empfehlungen bezüglich bester verfügbarer Techniken .....	106
6.6.	Neue fortschrittliche Verfahren .....	107
<b>7.</b>	<b>Produktion von Magnetbändern .....</b>	<b>109</b>
7.1.	Allgemeine Informationen.....	109
7.2.	Angewandte Verfahren und Techniken .....	110
7.3.	Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte.....	116
7.4.	Ermittlung der BVT-Kandidaten .....	117
7.5.	Auswahl und Empfehlungen bezüglich bester verfügbarer Techniken .....	120
7.6.	Neue fortschrittliche Verfahren .....	121

8. Papierbeschichtung .....	123
8.1. Allgemeine Informationen .....	123
8.2. Angewandte Verfahren und Techniken .....	126
8.3. Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte .....	132
8.4. Ermittlung der BVT-Kandidaten .....	136
8.5. Auswahl und Empfehlungen bezüglich bester verfügbarer Techniken .....	137
8.6. Neue fortschrittliche Verfahren .....	137
9. Untersuchte, aber nicht IVU-relevante Bereiche .....	141
9.1. Tränken und Imprägnieren in der Holzindustrie .....	141
9.2. Tränken und Imprägnieren in der Dämmstoffindustrie .....	143
9.3. Tränken elektronischer Bauteile (Elektroindustrie) .....	144
9.4. Beschichten in der Holzindustrie .....	145
9.5. Beschichten von Leiterplatten (Elektronikindustrie) .....	147
Abbildungsverzeichnis .....	157
Tabellenverzeichnis .....	159
Literatur .....	163
Anhang .....	165

## **1. Hintergrund und Zielsetzung**

Mit der Richtlinie über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU-Richtlinie 96/61/EU) wird auf europäischer Ebene eine Harmonisierung der Genehmigungsverfahren für den Betrieb bestimmter industrieller Anlagen angestrebt.

Besonderer Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang der Anwendung von "Besten verfügbaren Techniken" (BVT bzw. "Best Available Technologies": BAT) zu. Hierzu wird innerhalb der EU ein Informationsaustausch durch die Europäische Kommission organisiert (Artikel 16 (2) IVU-Richtlinie), die Ergebnisse des Informationsaustausches werden als BVT-Merkblätter veröffentlicht.

Für die von der IVU-Richtlinie angesprochenen industriellen Anlagen soll der in Deutschland angewandte Stand der Technik und die damit verbundenen Emissions- und Verbrauchswerte in die BVT-Merkblätter eingebracht werden.

Das Projekt ist vor diesem Hintergrund darauf ausgerichtet, den in Deutschland etablierten Technikstand für die Bereiche "Appretieren, Imprägnieren, Bedrucken, Tränken, Beschichten" von IVU relevanten Anlagen systematisch zu erfassen und insbesondere Daten von modernen Einzelanlagen zusammenzustellen. Damit wird eine Grundlage für die deutsche Position im Rahmen des Informationsaustauschs innerhalb der EU gelegt.

Für Anlagen aus dem Bereich der Lack- und Klebstoffverarbeitung findet ein paralleles Forschungsvorhaben des Umweltbundesamtes statt. Die Zielsetzung der beiden Projekte ist vergleichbar. Auch im Parallelvorhaben werden mögliche Primär- und Sekundärmaßnahmen als BVT zur Reduktion von VOC-Emissionen diskutiert. Verschiedene Sekundärmaßnahmen wie Thermische Nachverbrennung, Staubfilter etc. sind in beiden Bereichen vergleichbar, so dass aufgrund der vereinbarten Arbeitsteilung in diesem Bericht kein separater Anhang für derartige End-of-pipe-Technologien aufgenommen wird. Auf die mit Sekundärtechnologien erreichbaren Emissionsreduktionen wird jedoch bei allen untersuchten Anlagentypen eingegangen.

Die erarbeiteten Ergebnisse basieren zu einem wesentlichen Teil auf einer kooperativen Zusammenarbeit mit Unternehmen und Verbänden. Durch Workshops innerhalb der jeweiligen Branchen konnten aktuelle und sehr konkrete Angaben zu verfügbaren Techniken erhalten werden. Das Projektteam möchte sich daher an dieser Stelle bei allen Beteiligten für die gewährte Unterstützung bedanken.





## 2. Grundlagen und Methodik

### 2.1. Rechtsgrundlagen

#### 2.1.1. IVU-Richtlinie

Die Richtlinie 96/61/EU, als IPPC-Richtlinie (IPPC = Integrated Pollution Prevention Control) oder IVU-Richtlinie bezeichnet, bezweckt die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung infolge bestimmter industrieller Tätigkeiten.

Durch die Richtlinie soll eine Harmonisierung der Anlagengenehmigung auf europäischer Ebene und ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt erreicht werden. Dazu sieht die Richtlinie Maßnahmen zur Vermeidung oder, wenn dies nicht möglich ist, zur Verminderung von Emissionen aus bestimmten Industriellen Tätigkeiten in Luft, Wasser und Boden vor (siehe Art. 1 [IVU-RL]).

Die Tätigkeiten sind in Anhang I der Richtlinie unter Angabe von Schwellenwerten aufgelistet. In Anhang I findet sich auch unter Punkt 6.7. die Grundlage für alle im vorliegenden Projekt behandelten Anlagen:

*"Anlagen zur Behandlung von Oberflächen von Stoffen, Gegenständen oder Erzeugnissen unter Verwendung von organischen Lösungsmitteln, insbesondere zum Appretieren, Bedrucken, Beschichten, Entfetten, Imprägnieren, Kleben, Lackieren, Reinigen oder Tränken, mit einer Verbrauchskapazität von mehr als 150 kg Lösungsmitteln pro Stunde oder von mehr als 200 t pro Jahr."*

Als ein Umsetzungsinstrument sieht die Richtlinie die Anwendung der besten verfügbaren Technik (BVT) vor, um Emissionen in und Auswirkungen auf die gesamte Umwelt allgemein zu vermeiden oder, wenn dies nicht möglich ist, zu vermindern.

Im Sinne der IVU-Richtlinie bezeichnet der Ausdruck

*"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 die Emissionsgrenzwerte zu dienen, um Emissionen in und Auswirkungen auf die gesamte Umwelt allgemein zu vermeiden oder, wenn dies nicht möglich ist, zu vermindern;*

*"Techniken" 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 sind.*

Gemäß Anhang IV [IVU-RL] sind bei der Festlegung der besten verfügbaren Techniken unter Berücksichtigung der sich aus einer bestimmten Maßnahme ergebenden Kosten und ihres Nutzens sowie des Grundsatzes der Vorsorge und der Vorbeugung im allgemeinen (d.h. bei der BVT-Bestimmung auf europäischer Ebene) wie auch im Einzelfall (d.h. im konkreten Genehmigungsfall) folgendes zu berücksichtigen:

1. Einsatz abfallarmer Technologie
2. Einsatz weniger gefährlicher Stoffe
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 Artikel 16 Absatz 2 oder von internationalen Organisationen veröffentlichten Informationen

Gemäß der IVU-Richtlinie bezeichnet der Begriff

*"Anlage" eine ortsfeste technische Einheit, in der eine oder mehrere der in Anhang I genannten Tätigkeiten sowie andere unmittelbar damit verbundene Tätigkeiten durchgeführt werden, die mit den an diesem Standort durchgeführten Tätigkeiten in einem technischen Zusammenhang stehen und die Auswirkungen auf die Emissionen und die Umweltverschmutzung haben können;*

Damit ist der Anlagenbegriff nicht auf einzelne Maschinen oder Einrichtungen beschränkt sondern bezieht sich auch auf mehrere Maschinen oder Einrichtungen einschließlich solcher, die mit der ausgeführten Tätigkeit in Zusammenhang stehen.

Die IVU-Richtlinie wurde zusammen mit weiteren EG-Umweltrichtlinien über ein so genanntes Artikelgesetz in deutsches Recht umgesetzt. Die Umsetzung der IVU-Richtlinie führte dabei u.a. zu eine Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG), des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) sowie des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG).

### **2.1.2. VOC-Richtlinie / 31. BImSchV**

Die Richtlinie 1999/13/EG "VOC-Richtlinie" (VOC = Volatile Organic Compound) vom 11. März 1999 behandelt die Verminderung von flüchtigen organischen Verbindungen, die aus 21 Tätigkeitsbereichen mit Lösemittelanwendung emittiert werden.

Die Umsetzung in deutsches Recht erfolgte über eine als Artikelverordnung aufgebaute Verordnung. Mit Artikel 1 wurde eine neue Verordnung (31. BImSchV) erlassen, in Artikel 2 wurde die 2. BImSchV unter Erweiterung des bisherigen Anwendungsbereichs auf alle leicht flüchtigen organischen Verbindungen geändert.

Die 31. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen bei der Verwendung organischer Lösemittel in bestimmten Anlagen – 31. BImSchV) gliedert sich in einen allgemeinen Teil mit grundsätzlichen Anforderungen und einen branchenspezifischen Teil, im dem die Tätigkeitsbereiche definiert sind (Anhang II), Schwellenwerte (Anhang I) und Emissionsgrenzwerte (Anhang III) für die einzelnen Tätigkeitsbereiche festgelegt werden, Grundsätze und Anforderungen für einen betrieblichen Reduzierungsplan genannt sind (Anhang IV) und Leitlinien zur Erstellung einer betrieblichen Lösemittelbilanz vorgegeben werden (Anhang V).

Die Definition des Anlagenbegriffs deckt sich sinngemäß mit der entsprechenden Definition in der IVU-Richtlinie. Weiterhin werden die Begriffe "flüchtige organischen Verbindung" sowie "organisches Lösemittel" definiert (siehe Kapitel 2.2).

Abhängig von den eingesetzten Stoffen/Zubereitungen dürfen die Gesamtemissionen einer Anlage an flüchtigen organischen Verbindungen gemäß 31. BImSchV folgende Werte nicht überschreiten, sofern keine abweichenden Anforderungen in Anhang III bestimmt sind:

max. Gesamtemission	
2,5 g/h oder 1 mg/m <sup>3</sup> (gefasste Abgase)	für Stoffe und Zubereitungen, denen aufgrund der enthaltenen flüchtigen organischen Verbindungen die R-Sätze R 45, R 46, R 49, R 60 oder R 61 (nach der Richtlinie 67/548/EWG) zugeordnet sind <sup>1</sup>  für eingesetzte Stoffe oder Zubereitungen die flüchtige organische Verbindungen enthalten, die nach § 52 Abs. 3 der Gefahrstoffverordnung als Stoffe mit einer krebs-erzeugenden, erbgutverändernden oder fortpflanzungs-gefährdenden Wirkung beannt gegeben worden sind <sup>1</sup>
100 g/h oder 20 mg/m <sup>3</sup> (gefasste Abgase)	für Stoffe und Zubereitungen, die flüchtige organische Verbindungen enthalten, denen der R-Satz R 40 zugeordnet ist  für Stoffe, die der Nummer 3.1.7 Klasse I der TA Luft zuzuordnen sind

Tabelle 2-1 Emissionsgrenzwerte gemäß 31. BImSchV

---

<sup>1</sup> Der Betreiber einer Anlage, der diese Stoffe einsetzt, hat in kürzest möglicher Frist soweit wie möglich und unter Berücksichtigung der Gebrauchstauglichkeit, der Verwendung und der Verhältnismäßigkeit zwischen Aufwand und Nutzen diese durch weniger schädliche Stoffe oder Zubereitungen zu ersetzen (§ 3 Abs. 2, 31. BImSchV).

### 2.1.3. TA-Luft

Die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA-Luft<sup>2</sup>) dient dem Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen und der Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, um ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt zu erreichen.

Sie enthält Vorschriften zur Reinhaltung der Luft und gilt für die Genehmigung zur Errichtung und zum Betrieb einer neuen Anlage (§ 6 Abs. 1 BImSchG) sowie zur Änderung der Lage, der Beschaffenheit oder des Betriebs bestehender Anlagen (§ 16 Abs. 1, auch in Verbindung mit Abs. 4 BImSchG).

Nach TA-Luft gelten für organische Stoffe folgende Bestimmungen (siehe TA Luft 5.2.5):

Organische Stoffe im Abgas, ausgenommen staubförmige organische Stoffe, dürfen den Massenstrom 0,50 kg/h oder die Massenkonzentration 50 mg/m<sup>3</sup>, jeweils angegeben als Gesamtkohlenstoff, insgesamt nicht überschreiten.

Bei Altanlagen mit einem jährlichen Massenstrom an organischen Stoffen von bis zu 1,5 Mg/a, angegeben als Gesamtkohlenstoff, dürfen davon abweichend die Emissionen an organischen Stoffen im Abgas den Massenstrom 1,5 kg/h, angegeben als Gesamtkohlenstoff, nicht überschreiten.

Organische Stoffe werden gemäß TA Luft in verschiedene Klassen eingeteilt. Innerhalb des Massenstroms oder der Massenkonzentration für Gesamtkohlenstoff dürfen die nach den Klassen I (Stoffe nach Anhang 4) oder II (siehe TA-Luft Punkt 5.2.5) eingeteilten organischen Stoffe, auch bei dem Vorhandensein mehrerer Stoffe derselben Klasse, insgesamt folgende Massenkonzentrationen oder Massenströme im Abgas, jeweils angegeben als Masse der organischen Stoffe, nicht überschreiten:

---

<sup>2</sup> Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24. Juli 2002

Stoffe	den Massenstrom	die Massenkonzentration
Klasse I	0,1 kg/h	20 mg/m <sup>3</sup>
Klasse II	0,5 kg/h	0,10 g/m <sup>3</sup>

Tabelle 2-2 Grenzwerte für organische Stoffe gemäß TA Luft (5.2.5)

Beim Vorhandensein von Stoffen mehrerer Klassen dürfen zusätzlich zu den Anforderungen von Punkt 5.2.5 Absatz 4 Satz 1 der TA-Luft beim Zusammentreffen von Stoffen der Klassen I und II im Abgas insgesamt die Emissionswerte der Klasse II nicht überschritten werden.

Die nicht namentlich im Anhang 4 der TA-Luft genannten organischen Stoffe oder deren Folgeprodukte, die bestimmte Kriterien erfüllen (siehe TA-Luft 5.2.5) sind grundsätzlich der Klasse I zuzuordnen.

Punkt 5.2.6 der TA-Luft enthält allgemeine Regelungen zur Begrenzung dampf- oder gasförmiger Emissionen beim Verarbeiten, Fördern und Umfüllen oder Lagern flüssiger organischer Stoffe.

Punkt 5.4 enthält besondere Regelungen zu bestimmten Anlagenarten wie z.B. spezifische Emissionsgrenzwerte.

## 2.2. Relevante Lösemittel und Mengenschwellen

Nach VOC-RL ist

*eine "flüchtige organische Verbindung" 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. Im Sinne dieser Richtlinie gilt der Kreosotanteil, der bei 293,15 K diesen Dampfdruck übersteigt, als flüchtige organische Verbindung.*

*Ein "organisches Lösungsmittel" eine flüchtige organische Verbindung, die, ohne sich chemisch zu verändern, allein oder in Kombination mit anderen Stoffen Rohstoffe, Produkte oder Abfallstoffe auflöst oder als Reinigungsmittel zur Auflösung von Verschmutzungen, als Lösungsmittel, als Dispersionsmittel oder als Mittel zur Einstellung der Viskosität oder der Oberflächenspannung oder als Weichmacher oder Konservierungsmittel verwendet wird.*

Die IVU-Richtlinie lässt die genaue Definition des Begriffs "organisches Lösungsmittel" offen. Eine Möglichkeit zur Präzisierung besteht darin, die Definition aus der VOC-Richtlinie zu verwenden. Vorläufig offen bleiben damit allerdings Randbereiche, bei denen Präzisierungsbedarf besteht. Dies gilt insbesondere für organische Lösemittel mit Dampfdrücken von  $< 0,01$  kPa (z.B. Paraffine, Bindemittel für Offset-Druckfarben).

Die IVU-Richtlinie gibt für die Anlagen des Anhangs I Ziffer 6.7 eine Mengenschwelle in Form einer "Verbrauchskapazität" vor. Diese Mengenschwelle ist erreicht, wenn ein Stundenwert von 150 kg Lösemittel oder ein Jahreswert von 200 t Lösemittel überschritten werden.

Für die Entscheidung, ob Anlagen unter die IVU-Richtlinie fallen, ist in diesem Zusammenhang insbesondere die Frage nach der Einbeziehung von Kreislaufmengen wichtig. Es wird dabei in der vorliegenden Arbeit davon ausgegangen, dass Lösemittelmengen, die innerhalb der Anlage im Kreis geführt werden, nicht zur Verbrauchskapazität zählen. Dies betrifft anlageninterne Rückgewinnungssysteme wie beispielsweise eine Tiefkühlkondensation. Anlagenexterne Kreislaufführungen werden jedoch zur Verbrauchskapazität hinzugezählt. Dies betrifft z.B. Lösemittel aus einer externen Wiederaufbereitung durch Destillation.

Auch Anlagen, die unterhalb der IVU-Mengenschwelle liegen, können unter Umständen für das Projekt bedeutsam sein. Dies ist dann der Fall, wenn durch einen fortschrittlichen Stand der Technik in Deutschland Stoffkreisläufe innerhalb der Anlage geschlos-

sen wurden und so die Mengenschwellen unterschritten werden, während vergleichbare Anlagen in anderen EU Ländern ohne derartige technische Maßnahmen noch über den Mengenschwellen liegen.

### **2.3. Begriffsbestimmung der Tätigkeiten aus Punkt 6.7, Anhang I der IVU-Richtlinie**

Im folgenden ist das in der Praxis gängige Verständnis der Begriffe wiedergegeben:

Beim Appretieren handelt es sich um einen Ausdruck aus der Textiltechnik. Die Appretur dient der Verschönerung und Veredelung von Geweben zur Erzielung von bestimmten Eigenschaften wie z.B. Glätte und Steife durch Bleichen, Pressen, Mangeln oder durch Zusatz von Stärke und Klebstoff. Der Begriff Appretieren wird auch für die Anwendung von Appreturen im Papierbereich verwendet.

Das Imprägnieren bezeichnet das Aufbringen von Flüssigkeiten auf natürliche und künstliche Stoffe zum Schutz gegen Wasser (Hydrophobieren), Öl, Feuer oder Schädlinge. Textilien, Papier, Leder und Holz werden durch Imprägnieren wasserabstoßend, wetter- oder auch flammfest. Das Imprägnieren von Geweben wird bei der Textilausrüstung vorgenommen. Das Imprägnieren von Holz erfolgt durch Spritzen, Tauchen oder Tränken. Zum Imprägnieren werden verschiedene Stoffe eingesetzt, die vorher z.B. in einem organischen Lösemittel gelöst werden.

Als "Tränken" wird in der Praxis eine Tätigkeit verstanden, bei der die Oberfläche eines Stoffes mit einer Flüssigkeit in Verbindung gebracht wird, so dass die Flüssigkeit über die Oberfläche in den Stoff eindringt und damit die Stoffeigenschaften verändert. Beim Tränken entstehen typischerweise keine Schichten mit klar definierten Schichtgrenzen.

Das Bedrucken bezeichnet Tätigkeiten bei denen durch Anwendung von Druckverfahren (z.B. Hochdruck, Tiefdruck, Flachdruck, Offsetdruck, Steindruck, Buchdruck, Flexodruck, Stichtiefdruck, Siebdruck) ein Bedruckstoff mit einem Farbauftrag versehen wird.

Als Beschichten bezeichnet man allgemein eine Tätigkeit, bei der eine beim Auftragen flüssige dünne Schicht auf eine bestehende Materialstruktur aufgebracht wird, um die Oberfläche des Stoffes in gleichmäßiger Form zu verändern.

Während Tränken, Bedrucken und Beschichten begrifflich klar voneinander abgegrenzt sind, sind die jeweiligen Grenzen zum Imprägnieren und auch zum Lackieren durchaus unscharf.



## 2.4. Abgrenzung zu anderen UBA-Vorhaben

Die Nummer 6.7 im Anhang I der IVU-Richtlinie ist trotz vorhandener Differenzierungen als Sammelposition für Anlagen anzusehen, die hohe Lösemittlemissionen ( $> 150$  kg pro Stunde oder  $> 200$  t pro Jahr) aufweisen. Eine exakte Zuordnung und Abgrenzung einzelner Verfahren ist anhand der vorgegebenen Differenzierungen nicht immer eindeutig. So fällt beispielsweise das Behandeln von Drähten zu Isolierzwecken unter Drahtbeschichten, es wird aber auch als Drahtlackieren bezeichnet. Umstritten ist u.a. auch, ob einige Verfahren zum Tränken (z.B. Dämmstoffindustrie) als "Behandlung von Oberflächen" angesehen werden können.

Das Projektteam erachtet das Erarbeiten z.T. künstlicher Differenzierungen und Trennungslinien zwischen den in der Nummer 6.7 genannten Tätigkeiten als nicht zielführend. Aus diesem Grund wurde für die Abgrenzung der verschiedenen UBA-Vorhaben ein Vorschlag entwickelt, der sich an Praxisgegebenheiten wie der Branchenzugehörigkeit orientiert. Roter Faden ist dabei, dass Anlagen, die eindeutig

- zum Lackieren oder Kleben verwendet werden, dem Forschungsvorhaben "Integrierter Umweltschutz bei bestimmten industriellen Tätigkeiten: Lösemittelrelevante Oberflächenbehandlungsanlagen – Lackieren und Kleben" zugeordnet werden
- der Textilindustrie zuzuordnen sind, im Forschungsvorhaben "Integrierter Umweltschutz bei bestimmten industriellen Tätigkeiten (IVU-Richtlinie): Anlagen zur Vorbehandlung oder zum Färben, Bedrucken und Ausrüsten von Fasern oder Textilien" bearbeitet werden.

Für den vielfältigen Restbereich, der auch alle nicht eindeutigen Zuordnungen einschließt, findet eine Bearbeitung im Rahmen des Forschungsvorhabens "Integrierter Umweltschutz bei bestimmten industriellen Tätigkeiten (IVU-Richtlinie): Anlagen zur Oberflächenbehandlung durch Appretieren, Imprägnieren, Bedrucken, Tränken, Beschichten" statt.

## 2.5. Relevante Oberflächenbehandlungsverfahren

Alle im folgenden aufgeführten Oberflächenbehandlungen und Industriebranchen wurden im vorliegenden Projekt bearbeitet. Im Zuge der Recherche hat sich bei einzelnen Bereichen herausgestellt, dass die Mengenschwellen des Anhangs I Ziffer 6.7 nicht erreicht werden. In diesen Fällen wurde der entsprechende Bereich nicht vertieft, sofern nicht eine europaweite Bedeutung vorliegt. Alle nicht vertieften Bereiche sind zusammenfassend in Kapitel 9 beschrieben.

Tätigkeiten (Branchen)	Kapitel
Produktion von Schleifmittel	Kapitel 3
Reifenherstellung (Gummi und Kautschukindustrie)	Kapitel 4
Produktion von Lackdrähten (Elektroindustrie)	Kapitel 5
Herstellung von Reibbelägen	Kapitel 6
Produktion von Magnetbändern	Kapitel 7
Papierbeschichtung	Kapitel 8
Tränken und Imprägnieren in der Holzindustrie	Kapitel 9.1
Tränken und Imprägnieren in der Dämmstoffindustrie	Kapitel 9.2
Tränken elektronischer Bauteilen (Elektroindustrie)	Kapitel 9.3
Beschichten in der Holzindustrie	Kapitel 9.4
Beschichten von Leiterplatten (Elektroindustrie)	Kapitel 9.5
Druckindustrie	Teilband Drucken
Klebebandherstellung	Bericht DFIU
Papier- und Verpackungsindustrie	Bericht DFIU
Fahrzeugindustrie	Bericht DFIU
Klebstoffanwendung in der Schuh- und Lederwarenindustrie	Bericht DFIU
Holz- und Möbelindustrie	Bericht DFIU
Industrielle Montage	Bericht DFIU

Tabelle 2-3 Übersicht Branchen und Tätigkeiten gem. Anhang I 6.7 IVU

## 2.6. Datengrundlage

Für die untersuchten Anlagen und Technologien wurden folgende Datenquellen verwendet:

1. Bilaterale Gespräche mit Anlagenbetreibern und anlagenspezifische Unterlagen
2. Informationen von Landesbehörden
3. Workshops mit betroffenen Verbänden und Unternehmen
4. Branchenübergreifende Workshops
5. Informationen von europäischen Verbänden
6. Literatur

Die bilateralen Gespräche mit Anlagenbetreibern waren eine wesentliche Quelle für konkrete Angaben zu den in Deutschland installierten Anlagen. Insbesondere aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte sowie Einzelheiten zu angewandten Verfahren und Techniken konnten aus diesen Gesprächen abgeleitet werden. Diese Informationen wurden durch Daten von Landesbehörden ergänzt, wozu zum Teil auch Genehmigungsunterlagen zur Verfügung gestellt wurden.

Eine weitere wesentliche Datengrundlage stellten Workshops mit den betroffenen Verbänden und Unternehmen dar. Für diese Veranstaltungen wurden vorbereitete Materialien allen Teilnehmern zur Verfügung gestellt und dienten als Grundlage für die Diskussion für allgemeiner Informationen (wie z.B. Zahl der relevanten Anlagen, Marktvolumen etc.), angewandter Verfahren und Techniken (insbesondere Prozessstufen und Verfahrensfleißbilder) mögliche BVT-Kandidaten sowie fortschrittliche Verfahren. Auch die Fragen nach wirtschaftlichen Konsequenzen wurde in der Regel auf den Workshops angesprochen.

Die branchenübergreifenden Workshops wurden gemeinsam mit Industrie- und Behördenvertretern veranstaltet, auch die Bearbeiter der Parallelvorhaben waren eingebunden. Diese Veranstaltungen dienten vor allem der Klärung methodischer Fragen, der Bewertung branchenübergreifender Techniken und der Abgrenzung der verschiedenen Forschungsvorhaben.

Literaturdaten wurden bei allen Untersuchungsbereichen berücksichtigt. Sie spielen jedoch in aller Regel keine wichtige Rolle für die Ergebnisse, da die verfügbare Litera-

tur in vielen Fällen nicht aktuell genug war bzw. aufgrund der kleinen Zahl an bestehenden Anlagen kaum Literatur verfügbar war.

## **2.7. Aufbau der Kapitel und angewandte Untersuchungsmethodik**

Der Aufbau der Kapitel entspricht den Vorgaben des Umweltbundesamtes für die Erarbeitung von BVT-Merkblättern und umfasst daher für alle untersuchten Verfahren:

1. Allgemeine Informationen
2. Angewandte Verfahren und Techniken
3. Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte
4. Ermittlung der BVT-Kandidaten
5. Auswahl und Empfehlung bezüglich bester verfügbarer Techniken
6. Neue fortschrittliche Verfahren

Im Rahmen der allgemeinen Informationen wird neben der IVU-Relevanz insbesondere auf Produktions- und Absatzzahlen der betroffenen Technologien, auf die Charakterisierung der aus den Verfahren resultierenden Produkte sowie auf Qualitätsanforderungen eingegangen. Diese Informationen werden für die Einschätzung der Bedeutung des jeweiligen Untersuchungsbereichs sowie für erforderliche Differenzierungen benötigt. Die Qualitätsanforderungen sind vor allem deshalb bedeutsam, weil die dahinter stehenden Normen in vielen Fällen bereits den Einsatz bestimmter Technologien oder Einsatzstoffe determinieren.

Im Rahmen der "angewandten Verfahren und Techniken" erfolgt zuerst eine Übersicht über den jeweiligen Herstellungsprozess, bei der die wesentlichen Verfahrenskomponenten beschrieben werden. Dabei wird darauf eingegangen, inwieweit diese lösemittelrelevant sind.

Darauf aufbauend erfolgt eine detaillierte Analyse der Prozessstufen anhand von Verfahrensfliessbildern. Dabei werden einzelne Lösemittelrelevante Prozessstufen speziell gekennzeichnet und es wird auf die Art der verwendeten Lösemittel eingegangen. Innerhalb der Beschreibung von angewandten Verfahren und Techniken wird weiterhin auf die einzelnen Komponenten von Anlagen sowie erforderliche Anlagendifferenzierung eingegangen.

Im Abschnitt aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte wird der in Deutschland bestehende Stand der Technik anhand fortschrittlicher Anlagen quantifiziert. Dafür wird eine Input-Output-Bilanzierung verwendet, die neben stofflichen auch Energieaspekte berücksichtigt. Die Emissions- und Verbrauchswerte, die realen Produktionsgegebenheiten in Deutschland entsprechen, sind für die meisten Verfahren bisher nicht öffentlich verfügbar gewesen, da diese insbesondere bei einer geringen Zahl von betroffenen Unternehmen wettbewerbsrelevante Belange betreffen. Auch die Fälle, in denen die in Betrieb befindlichen Anlagen die für Neuanlagen geltenden Grenzwerte der 31. BImSchV gegenwärtig noch nicht einhalten, konnten aufgrund der etablierten Zusammenarbeit mit Industrieverbänden und Unternehmen dokumentiert werden. Um ein erforderliches Maß an Vertraulichkeit zu gewährleisten, werden die Namen der betroffenen Unternehmen nicht genannt und alle Angaben der Input-Output-Bilanz werden auf eine normierte Produktmenge bezogen, so dass der Auslastungsgrad der Anlagen und die tatsächlichen Produktionsmengen (die für die Zwecke der BVT-Merkblätter nicht relevant sind) nicht aufgedeckt werden müssen.

Aufbauend auf der Technikbeschreibung und der Verbrauchs- und Emissionsmengen werden im nächsten Unterkapitel BVT-Kandidaten ermittelt. Dazu werden die Vorgaben aus Anhang IV der IVU-Richtlinie auf die Bereiche Luftemission, Wasseremission, Abfall, Energie und Risiko verdichtet und jeweils beschrieben, welche Techniken in Frage kommen, um in diesen Bereichen Belastungen zu verringern. Der Bereich "Risiko" hat dabei eine "Sammelfunktion" für die Punkte 2, 10 und 11 aus Anhang IV der IVU-Richtlinie.

Im nächsten Unterkapitel werden die BVT-Kandidaten dann zusammenfassend bewertet. Hierzu wurde aus Übersichtlichkeitsgründen eine Tabelle entwickelt, in der die Konsequenzen eines BVT-Kandidaten auf die Bereiche

Luft (L)  
Abfall (A)  
Wasser (W)  
Energie (E)  
Ressourcen (R)  
Lärm (L)  
Risiko

qualitativ angegeben werden. Damit können auch cross-media Effekte skizziert werden. Eine Quantifizierung würde eine anlagenspezifische Betrachtung nach sich ziehen und ist deshalb nicht in der Tabelle sondern als Summe der eingesetzten BVT-Kandidaten im

Unterkapitel "Verbrauchs- und Emissionswerte" für fortschrittliche Anlagen vorgenommen wurden.

In der Tabelle befindet sich für alle BVT-Kandidaten noch eine Spalte "Kosten-Nutzen Relation". In dieser Spalte wird angegeben, ob der betreffende BVT-Kandidat gemäß der Definition der IVU-Richtlinie unter "wirtschaftlich und technisch vertretbaren Verhältnissen" eingesetzt werden kann. Soweit diese Vorgabe nicht oder nur unter bestimmten Randbedingungen gegeben ist, wird dies separat vermerkt.

Techniken	L	A	W	E	R	Lärm	Risiko	Kosten/ Nutzen Relation

L = Luft; A = Abfall; W = Wasser; E = Energie; R = Ressourcen

Tabelle 2-4 Schema qualitative Bewertung der BVT-Kandidaten

Das Unterkapitel wird mit Empfehlungen im Hinblick auf die Auswahl von BVT abgeschlossen.

Der nächste Teilabschnitt betrifft neue fortschrittliche Verfahren, die gegenwärtig noch nicht im industriellen oder wirtschaftlich vertretbaren Rahmen eingesetzt werden, die aber eine "Vision" für zukünftige Technologieentwicklungen skizzieren.

## **2.8. Grundsätzliche methodische Probleme und Lösungsansätze**

Im Rahmen der Untersuchung haben sich folgende grundsätzliche Probleme ergeben:

1. In Deutschland werden in bestimmten Bereichen ausschließlich Technologien eingesetzt, die die für Neuanlagen gemäß 31. BImSchV geltenden Grenzwerte nicht einhalten. Können derartige Anlagen dann "beste verfügbare Technik" in Deutschland definieren?
2. Es gibt in Deutschland bzw. in Europa nur ein Unternehmen, welches ein bestimmtes Herstellungsverfahren betreibt. Ist eine Technologiebeschreibung vor diesem Hintergrund im Hinblick auf den internationalen Wettbewerb sinnvoll?
3. Wie ist mit Anlagen zu verfahren, wenn in Deutschland durch fortschrittliche Maßnahmen die Verbrauchskapazitäten unter die Mengenschwellen der IVU-Richtlinie fallen, in anderen Ländern aber ohne fortschrittliche Techniken die IVU-Schwellen überschritten werden?
4. Wie ist mit Anlagen umzugehen, bei denen das Emissionsverhalten extrem von Produktparametern beeinflusst wird? Durch die Angabe von Emissions- und Verbrauchswerten pro Anlage würden hierbei Vorgaben für das zu produzierende Produktspektrum entstehen.

Zum Fragenkomplex 1 schlägt das Projektteam vor, bestehende Anlagen, die die gesetzlichen Grenzwerte für Neuanlagen nicht einhalten, nicht als BVT zu bezeichnen. In den zum Teil sehr intensiv mit den Beteiligten diskutierten Fällen wurde festgehalten, dass die Industrie durch den Einsatz von heute noch als "neue fortschrittliche Verfahren" bezeichneten Technologien zum Zeitpunkt des Auslaufens von Übergangsfristen in der Lage sein wird, die Grenzwerte einzuhalten.

Bei den Fragenkomplexen 2 und 3 wurde so verfahren, dass eine Beschreibung in Abhängigkeit vom Einverständnis des Unternehmen erfolgte, dessen Wettbewerbssituation durch die Technologiebeschreibung tangiert wird.

Bei mehreren Anlagen, die in Deutschland unter den Mengenschwellen liegen, bei denen europäische Unternehmen aber über den Mengenschwellen liegen können, erfolgte eine Kurzbeschreibung (vgl. Kapitel 9).

Zu Punkt 4 wurden soweit möglich die Zusammenhänge zwischen Produktparametern und Emissionen aufgeführt, um so eine möglichst umfassende Informationsbasis zur Verfügung zu stellen.

Für alle vier Fragenkomplexe erscheint es zielführend, in Abhängigkeit von der Diskussion in Sevilla nochmals einen Workshop mit den Beteiligten unter Einbeziehung europäischer Ergebnisse und des sich weiter entwickelnden Technologiestandes durchzuführen. Das Projektteam ist hierzu auch nach Abschluss der Projektlaufzeit bereit.



### **3. Produktion von Schleifmitteln**

#### **3.1. Allgemeine Informationen**

Bei der Herstellung von Schleifmitteln werden je nach Verfahren bzw. Schleifmittelart organische Lösemittel in IVU-relevanten Mengen eingesetzt. Die überwiegende Zahl der Anlagen zur Herstellung von Schleifmitteln ist jedoch von der IVU-Richtlinie nicht betroffen, da entweder die Mengenschwellen unterschritten oder keine organischen Lösemittel eingesetzt werden.

#### **Einsatzbereiche von Schleifmitteln**

Schleifen ist eines der ältesten Fertigungsverfahren. Es ist dadurch gekennzeichnet, dass viele geometrisch unbestimmte Schneiden gleichzeitig im Werkstoffeingriff sind. Zum Einsatz als Schleifmittel kommen moderne Schleifstoffe aus synthetischem Korund oder Siliziumcarbid, vielfach aber auch schon kubisches Bornitrid (CBN) oder Diamant.

Unterschiedlichste Materialien können bearbeitet werden, z.B. Eisen- und Nichteisenmetalle, Glas, Keramik, Naturstein, Beton, Kunststoffe und Holz. Die Anwendungsfelder reichen vom Grobschleifen von Eisenguss bis zum Präzisionsschliff medizinischer Hohladeln. Viele Produkte im Werkzeugbau, im Automobilbau, der Flugzeugindustrie, dem Kraftwerksbau oder der Möbelindustrie erhalten erst durch Schleifen ihre endgültige Form und qualitativ hochwertige Oberfläche.

#### **Produktions- und Absatzzahlen**

Insgesamt befassen sich derzeit mehr als 100 Betriebe in Deutschland mit der Herstellung unterschiedlichster Schleifwerkzeuge. Davon sind etwa 70 Unternehmen im Verein Deutscher Schleifmittelwerke e.V. (VDS) organisiert.

Nach Angaben des VDS ist die deutsche Schleifmittelindustrie führend in Europa. Nachfolgende Tabelle gibt einen groben Überblick über ihre wirtschaftliche Bedeutung:

Produktion gebundener Schleifkörper	600 Mio. DM
Import	160 Mio. DM
Export	330 Mio. DM
Produktion von Schleifmitteln auf Unterlagen	750 Mio. DM
Import	420 Mio. DM
Export	635 Mio. DM

Tabelle 3-1 Produktionswerte Schleifmittelherstellung 1999 (Quelle: Verein Deutscher Schleifmittelwerke)

### Charakterisierung des Produkts "Schleifmittel" und Qualitätsanforderungen

Grundsätzlich wird zwischen gebundenen Schleifmitteln („Schleifscheiben“) und Schleifmitteln auf Unterlagen („Schleifpapier und –gewebe“) unterschieden. Darüber hinaus existieren noch Schleifmittel, die über keine feste Bindung zu ihrem Träger verfügen (z.B. Polierpasten).

Die nachstehende Abbildung gibt einen vereinfachten Überblick über die Ausprägung und Zuordnung der verschiedenen Schleifmittelformen.

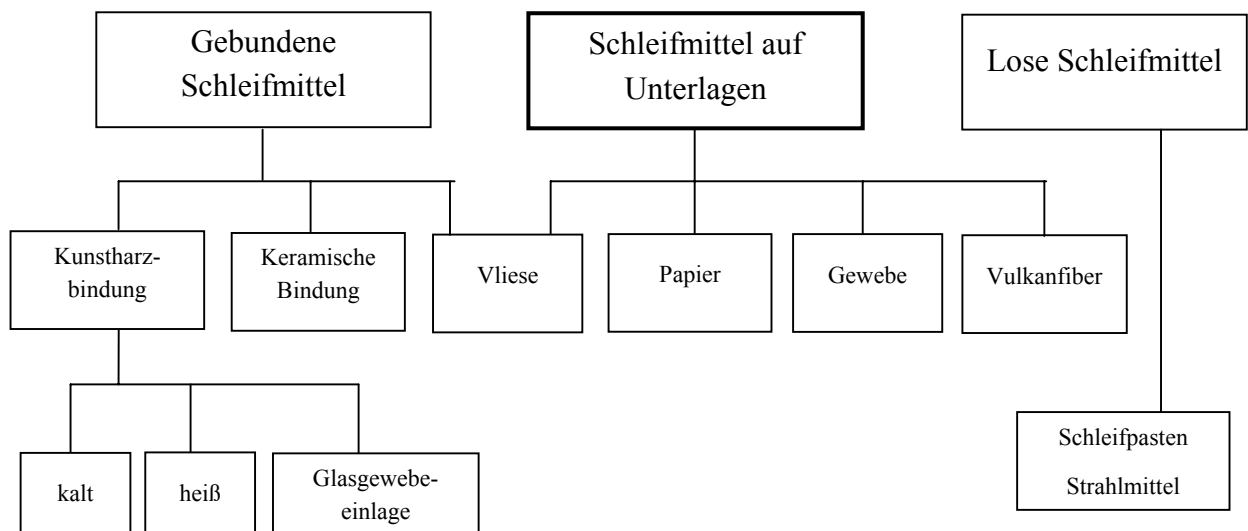


Abbildung 3-1 Übersicht über Schleifmittelarten

Bei der Herstellung von gebundenen Schleifmitteln sowie von losen Schleifmitteln werden zum Teil organische Lösemittel eingesetzt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass es sich bei den deutschen Anlagen um keine Tätigkeit gemäß IVU-Richtlinie Anhang I Ziffer 6.7 handelt, so dass auf diese Verfahren hier nicht weiter eingegangen wird.

Die Herstellung von Schleifmitteln auf Unterlagen kann von den Mengenschwellen und Tätigkeiten der IVU-Richtlinie betroffen sein. Schleifmittel auf Unterlagen bilden eine Basis für viele Schleifwerkzeuge, die aus flächenförmigen Elementen wie z.B. Blättern, Streifen, Blattscheiben bestehen oder aus solchen zusammengesetzt sind (z.B. Bänder, Lamellenscheiben, Fächerschleifscheiben). Nach Einsatzzweck und Unterlagenwerkstoff differenziert werden eine Vielzahl von Bindsystemen eingesetzt.

Schleifvliese stellen eine Sonderform zwischen den Schleifmitteln auf Unterlagen und den gebundenen Schleifkörpern dar, weil sie als Formkörper oder als Flächenbahn eingesetzt werden können. Sie bestehen beispielsweise aus Polyamidwirrfasern, auf deren Oberfläche die Schleifmittel mit dem Bindemittel verankert werden. Die Herstellung erfolgt vergleichbar zur Produktion von Schleifmitteln auf Unterlagen.

### **Aufbau von Schleifmitteln auf Unterlagen**

1. *Trägerschicht*, z. B. Papier, Gewebe, Vulkan-Fiber, Folien
2. *Bindemittel*, z. B. Hautleim, Phenolharze, Epoxydharze, Polyurethane, Harnstoffharze
3. *Schleifkorn*, z. B. Flint, Siliziumcarbid, Korund, Zirkonkorund, sehr selten: Diamant, CBN

#### *Zu 1. Trägerschicht*

Schon die Bezeichnung „Schleifmittel auf Unterlagen“ weist auf die Bedeutung hin, welche dem Trägermaterial dieses Werkzeuges zukommt. Je nach Beanspruchung und Bestimmungszweck eines flexiblen Schleifmittels muss die Unterlage bestimmte Eigenschaften aufweisen. So sind beim Handschliff besondere Schmiegsamkeit und geringe Knickneigung erforderlich. Bei Schleifbändern, Schleifblättern und Zylinderbelägen für den Hochleistungsschliff werden hervorragende Festigkeitseigenschaften erwartet, das heißt Beständigkeit gegen Zug-, Wechsel-, Abrieb- und Quellbelastung.

Um diesen Anforderungen zu genügen, werden insbesondere folgende Gruppen von Trägermaterialien verwendet:

- Papier
- Gewebe
- Papier/Gewebe-Kombination
- Vulkan-Fiber

Die nachstehende Tabelle zeigt eine beispielhafte Klassifikation der in diesen Gruppen verwendeten Trägermaterialien.

	Gewichtsbereich ausgerüstet [g/m <sup>2</sup> ]
A-Papier	≤ 85
B-Papier	86-110
C-Papier	111-135
D-Papier	136-220
E-Papier	221-270
F-Papier	271-350
G-Papier	351-500
H-Papier	> 500
A-Papier wasserfest	≤ 115
C-Papier wasserfest	> 115
Schweres Baumwoll-X-Gewebe	370-400
Flexibles Baumwoll-J-Gewebe	270-290
Hochflexibles-Baumwoll-J-flex-Gewebe	200-220
Schweres Polyester-X-Gewebe	475-505
Sehr schweres Polyester-Y-Gewebe	630-665

Tabelle 3-2    Ausgewählte Trägermaterialien für Schleifmittel auf Unterlagen

### *Papier*

Die zur Herstellung von Schleifmitteln auf Unterlagen verwendeten Papiere bestehen aus besonders festen und zähen Fasern. Sie werden je nach Bestimmungszweck in unterschiedlichen Qualitäten, Gewichten, Stärken und Breiten verarbeitet. Man unterscheidet zwischen einschichtigem, flexiblem Papier mit gleichmäßiger Reißfestigkeit in jeder Beanspruchungsrichtung und dem mehrschichtigen, schweren Zylinderpapier mit besonders hoher Festigkeit in Walzrichtung (Faserrichtung).

Alle Trägertypen von A bis F sind auf den Trockenschliff abgestellt. Daneben gibt es noch A- und C-Papiere in wasserfester Latex- oder Lackimprägnierung für den Nassschliff.

Schleifmittel auf A-, B- und C-Papierunterlage werden als Handschleifmittel und auf handgeführten Schleifmaschinen eingesetzt. D- und E-Papiere sind erforderlich für das Schleifen auf stationären Maschinen bis zur höchsten Beanspruchung [Lit. 2].

### *Gewebe*

Schleifmittel auf Unterlagen, die zu Schleifbändern verarbeitet oder im Kontakt-, Profil- und Flachschiiff eingesetzt werden, müssen infolge der hohen Beanspruchung ein Gewebe als Trägermaterial besitzen. Diese sogenannten technischen Gewebe werden überwiegend aus Baumwollgarn in Körperbindung hergestellt. Man unterscheidet zwischen schwerem X-Gewebe und leichtem J-Gewebe. Maßgebend für diese Unterscheidung ist die Fadenstellung, das heißt die Anzahl der Fäden gemessen in Kett- und Schussrichtung. Schweres X-Gewebe hat eine relativ geringe, leichtes J-Gewebe eine höhere Fadenzahl.

Für die Verwendung als Träger von Schleifkorn muss das Gewebe noch ausgerüstet, d.h. speziell behandelt werden. Hierbei wird das Rohgewebe zunächst entschlichtet und gefärbt und dann durch Einlaufen auf seine endgültige Dichte gebracht. Danach wird es auf der späteren Druckseite mit Leimen, Kunstharzen oder ähnlichen Substanzen appetiert und anschließend kalandriert (geglättet) [Lit. 2].

### *Vulkan-Fiber*

Zahlreiche industrielle Produktionsvorgänge erfordern besonders hochleistungsfähige und stark strapazierbare Schleifmittel. Für diese wird Vulkan-Fiber als Trägermaterial verwendet. Vulkan-Fiber ist ein sehr fester, faseriger, aus mehreren Schichten bestehender Werkstoff. Bei seiner Herstellung werden zahlreiche vliesartige Papierbahnen unter Verwendung eines Kontaktmittels durch Kalandrierung miteinander verbunden. Vulkan-Fiber kann in beliebiger Stärke hergestellt werden. In der Schleifmittelindustrie

haben sich die Vulkan-Fiberstärken 0,8–0,6–0,4 mm durchgesetzt, wobei das stärkere Material bei hoher Beanspruchung, das dünnere Material dort eingesetzt wird, wo größere Flexibilität verlangt wird. Schleifmittel auf Vulkan-Fiberunterlage können mechanisch besonders hoch beansprucht werden. Deshalb finden sie in fast allen Industriegruppen, vornehmlich im Automobil-, Maschinen-, Schiffs- oder Apparatebau Verwendung [Lit. 2].

#### *Zu 2. Bindemittel:*

Die Leistungsfähigkeit der Schleifmittel auf Unterlagen ist weitgehend durch die Einbindung (Kornhaftung) des Schleifkorns bestimmt. Deshalb kommt den Bindemitteln besondere Bedeutung zu. Um eine gute Kornhaftung sowie weitere schleiftechnisch erforderliche Eigenschaften zu erzielen, besteht der Bindemittelauftrag in der Regel aus mehreren nacheinander aufgetragenen Schichten.

Dabei werden im wesentlichen folgende Bindemittel verwendet:

- Hautleime
- Kunstharze
- Lacke

Unter Berücksichtigung der verwendeten Bindemittel werden folgende Bindungsarten unterschieden:

#### *Hautleimbindung (lösemittelfrei)*

Bei den leimgebundenen Schleifmitteln auf Unterlagen bestehen die Bindungen aus Hautleim. Die Unterlage ist Papier oder Gewebe. Sie finden überall dort Einsatz, wo weniger hohe Zerspanungskräfte auftreten oder die volle Nutzung des Materials von vornherein nicht gegeben ist, z. B. bei der Bearbeitung schmierender Werkstoffe [Lit. 2].

#### *Teilkunstharzbindung (lösemittelfrei)*

Teilkunstharzgebundene Schleifmittel bestehen in ihrer Grundbindung aus Hautleim, in der Deckbindung aus einem Kunstharzauftrag. Derartige Schleifpapiere oder -gewebe sind universell einsetzbar, besonders aber für mittelschwere Zerspanungsvorgänge geeignet. Durch die elastische Grundbindung aus Hautleim und die widerstandsfähige Deckbindung aus Kunstharz sind diese Qualitäten sehr gut für die Oberflächenbearbeitung profilierter Werkstücke geeignet [Lit. 2].

### *Vollkunstharzbindung (weitestgehend lösemittelfrei)*

Schleifmittel für besonders hohe Zerspanungsleistungen werden in Vollkunstharzbindung gefertigt. Aufgrund der relativ harten Kunstharzbindung werden die einzelnen Schleifkörner besonders fest mit der Unterlage verbunden. Hierdurch vermögen sie sehr hohen Schnittkräften zu widerstehen, so dass vollkunstharzgebundene Schleifmittel auf Unterlagen sehr hohe Leistungswerte erbringen [Lit. 2].

### *Lacke: Wasserfest Bindungen (lösemittelhaltig)*

Zahlreiche Werkstoffe sowie bestimmte Anwendungsmethoden erfordern die Verwendung eines wasserhaltigen Kühl- bzw. Spülmittels. Hierfür sind die bisher genannten Qualitäten nicht geeignet, da entweder das Bindemittel (Hautleim) oder die Appretur (Leimsubstanz) durch die Kühlflüssigkeit angegriffen werden. Aus diesem Grunde sind absolut wasserfeste Qualitäten erforderlich. Hierfür werden Gewebequalitäten verwendet, die mit einer wasserfesten Appretur versehen sind. Als Bindemittel werden spezielle Kunstharze gebraucht. Wasserfeste Spezialgewebe werden für den Nassschliff von Stahl, Glas, Keramik, Natur- und Kunststein und Kunststoffen eingesetzt.

Beim Schleifen von Grundierungen, Füllern, klaren oder pigmentierten Lacken entsteht ein stark staubender oder schmierender Abschliff, so dass auch hier im Nassschliff gearbeitet werden muss. Als Schleifmittel dienen wasserfeste Schleifpapiere. Hierfür wird eine geschmeidige Papierunterlage verwendet, die mit Latex oder Lack imprägniert und dadurch wasserbeständig gemacht worden ist. Die Grund- und Deckbindung entsteht durch Beschichtung mit Spezialharzen und -lacken. Wasserfestes Schleifpapier ist infolgedessen nicht nur wasserbeständig, sondern auch weitgehend unempfindlich gegen Zusetzen und Verschmieren [Lit. 2].

*Zu 3. Schleifkorn:*

*Aluminiumoxide :*

	Normal- korund [%]	Halbedel- korund [%]	Edelkorund rosa [%]	Edelkorund- rot [%]	Edelko- rund weiß [%]	kerami- scher Korund	Zirkon- korund [%]
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	95,83	97,69	99,52	97,50	99,50	99,6	60,0
ZrO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	39,0
SiO <sub>2</sub>	0,60	0,38	-	0,02	0,05	0,07	0,30
TiO <sub>2</sub>	3,12	1,45	-	-	0,02	0,2	0,25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,10	0,15	0,05	0,05	0,05	0,02	0,25
Na <sub>2</sub> O	-	-	0,18	0,3	0,30	0,01	0,03
CaO	0,05	0,03	-	-	0,05	0,01	0,09
MgO	0,20	0,15	-	-	0,01	0,015	0,02
CrO <sub>2</sub>			0,25	2,0			
Andere	0,10	0,15	-	0,13	0,02	0,075	0,06
Farbe	dunkelbraun	hellbraun	rosa	rubinrot	weiß	Weiß	hellgrau

Tabelle 3-3 Als Schleifkorn eingesetzte Aluminiumoxide als Inertstoffe (typische Werte)

*Siliciumcarbide :*

	schwarzes SiC	grünes SiC
SiC [%]	98,26	99,66
freier Kohlenstoff [C] [%]	0,19	0,29
Fe [%]	0,10	0,02
Si [%]	0,19	0,03
Andere [%]	1,26	-

Tabelle 3-4 Als Schleifkorn eingesetzte Siliciumcarbide als Inertstoffe (typische Werte)



*Einsatz von Lösemitteln zugeordnet zu Produkten*

Unterlage	Produkt	Formstücke	Anwendung	Bindemittelsysteme	Lösemittel
A-Papier	Trockenschliff	Blattware, Rollenware,	Lack- und Holzschliff (Malerbereich)	Hautleim, Vollkunstharz	nein
B-Papier	Trockenschliff	Blattware, Rollenware	Lack- und Holzschliff (Malerbereich)	Hautleim, Vollkunstharz	nein
C-Papier	Trockenschliff	Rollenware, Bänder, Blätter	Lack-, Holz- und Metallschliff (Maschinen)	Teilkunstharz, Vollkunstharz	nein
D-Papier	Trockenschliff	Rollenware, Bänder, Blätter	Lack-, Holz- und Metallschliff (Maschinen)	Teilkunstharz, Vollkunstharz	nein
E-Papier	Trockenschliff	Rollenware, Bänder, Blätter	Lack-, Holz- und Metallschliff (Maschinen)	Teilkunstharz, Vollkunstharz	nein
F-Papier	Trockenschliff	Rollenware, Bänder, Blätter	Lack-, Holz- und Metallschliff (Maschinen)	Teilkunstharz, Vollkunstharz	nein
A-Papier wasserfest	Nassschleifpapier	Blattware	Allgemeiner Lackschliff (Hand)	Vollkunstharz	<b>Ja</b>
C-Papier wasserfest	Nassschleifpapier	Blattware Bänder	Allgemeiner Lackschliff (Hand) Maschinenschliff	Vollkunstharz	<b>Ja</b>
X-Gewebe Baumwolle	Trockenschliff Nassschliff	Bänder, Rollen, Blätter	Metallschliff, Glasschliff, Holzschliff (Maschinen)	Vollkunstharz	<b>Zum Teil</b>
J-Gewebe Baumwolle	Trockenschliff	Bänder, Rollen, Blätter	Metallschliff, Glasschliff, Holzschliff (Maschinen)	Vollkunstharz	<b>Zum Teil</b>
J-flex-Gewebe	Trockenschliff	Bänder, Rollen, Blätter	Metallschliff, Glasschliff, Holzschliff (Maschinen)	Vollkunstharz	<b>Zum Teil</b>
X-Gewebe Polyester	Trockenschliff Nassschliff	Bänder, Rollen, Blätter	Metallschliff, Glasschliff, Holzschliff (Maschinen)	Vollkunstharz	<b>Zum Teil</b>
Y-Gewebe Polyester	Trockenschliff Nassschliff	Bänder, Rollen, Blätter	Metallschliff, Glasschliff, Holzschliff (Maschinen)	Vollkunstharz	<b>Zum Teil</b>

Tabelle 3-5 Lösungsmiteinsatz zugeordnet zu Produkten

## **Qualitätsanforderungen**

Hauptkriterium ist die Einhaltung der genormten Korngröße (DIN.6344, Blatt 1 bis 3, Korngröße für Schleifmittel auf Unterlagen. DIN 8486, Blatt 1 u. 2, Korngröße für Schleifkörper. DIN 9136 Kornschüttdichte). Weiterhin relevant sind Zähigkeit, Härte, geringer Staubanteil, keine Bestandteile von Quarz oder fasrigen Anteilen und Kornform.

Weitere Qualitätsanforderung: Prüfung von Phenolharzen, DIN 16916.

DIN/ISO-Normen zur Herstellung von Schleifpapieren und -geweben sind nicht vorhanden.

Kundenbezogene Qualitätsvorgaben betreffen weiterhin die Spannbreite der Flexibilitätsgrenzen, allergologisch günstige Eigenschaften beim Hand-Nassschliff-Einsatz und Auftragsmenge bei Feinstkörnungen. Diese Vorgaben führen gegenwärtig dazu, dass bei Nassschleifmittel noch ein Einsatz von organischen Lösemitteln erforderlich ist.

## **3.2. Angewandte Verfahren und Techniken**

### **3.2.1. Übersicht über den Herstellungsprozess**

Schleifmittel auf Unterlagen werden hergestellt, indem

- ein Träger mit Bindemitteln beschichtet
- elektrostatisch oder mechanisch mit vorgenannten Kornarten bestreut
- vorgetrocknet
- erneut mit Bindemitteln beschichtet
- getrocknet
- und als Jumborolle aufgerollt wird.

Verfahrensunterschiede beziehen sich auf die Art des Trocknungsofens (Hangstab- oder Flachbahnofen), das Auftragsverfahren (Vliesprodukte werden häufig gesprüht) und die Art der Beseitigung von Emissionen aus den Trockenöfen (Biologie, thermische Nachverbrennung oder ohne Behandlung)

Bei der Konfektionierung der Jumborollen können weitere lösemittelhaltige Beschichtungen (Selbstklebeprodukte, Endlosschleifbandverklebungen) zur Anwendung kommen.

Schleifmittel auf Unterlagen werden in gleichbleibender Qualität auf Produktionsanlagen mit hoher Ausstoßquote gefertigt. Eine solche Produktionsanlage besteht in der Regel aus folgenden Einheiten:

1. der Grundbindungspartie (Maker)
2. dem Vortrockner
3. der Deckbindungspartie (Sizer)
4. dem Haupttrockner
5. der Aufrollung.

Im sogenannten Maker wird die Unterlage zunächst mit den erforderlichen Angaben bedruckt. Anschließend wird auf der gegenüberliegenden Unterlagenseite die Grundbindung aufgebracht, in der Streuanlage mit Schleifkorn beschichtet und im zweiten Anlagenteil, dem Vortrockner, mit Warmluft vorgetrocknet bzw. angehärtet. In der dritten Produktionseinheit, der Deckbindungspartie, wird die mit Schleifkorn beschichtete Trägerbahn mit einer Deckbindung versehen. Das fertig beschichtete Schleifmaterial durchläuft jetzt in zeitlich abgestimmter Dauer den vierten Teil der Anlage, den ebenfalls mit Warmluft beheizten Haupthang. Danach verlässt das Material in getrocknetem Zustand die Anlage und wird auf der Aufrollmaschine zu großen Rollen (Jumbos) aufgewickelt.

Der gesamte Fertigungsprozess wird über eine Vielzahl von elektronischen und thermischen Messelementen und Geräten überwacht und in besonderen Toleranzgrenzen gehalten. Dies bezieht sich unter anderem auch auf die Bestreuung der Unterlage, welche auf verschiedene Weise erfolgen kann.

### 3.2.2. Prozessstufen und Verfahrensfliessbilder

Die folgende Abbildung liefert eine Übersicht für eine typische Anlage.

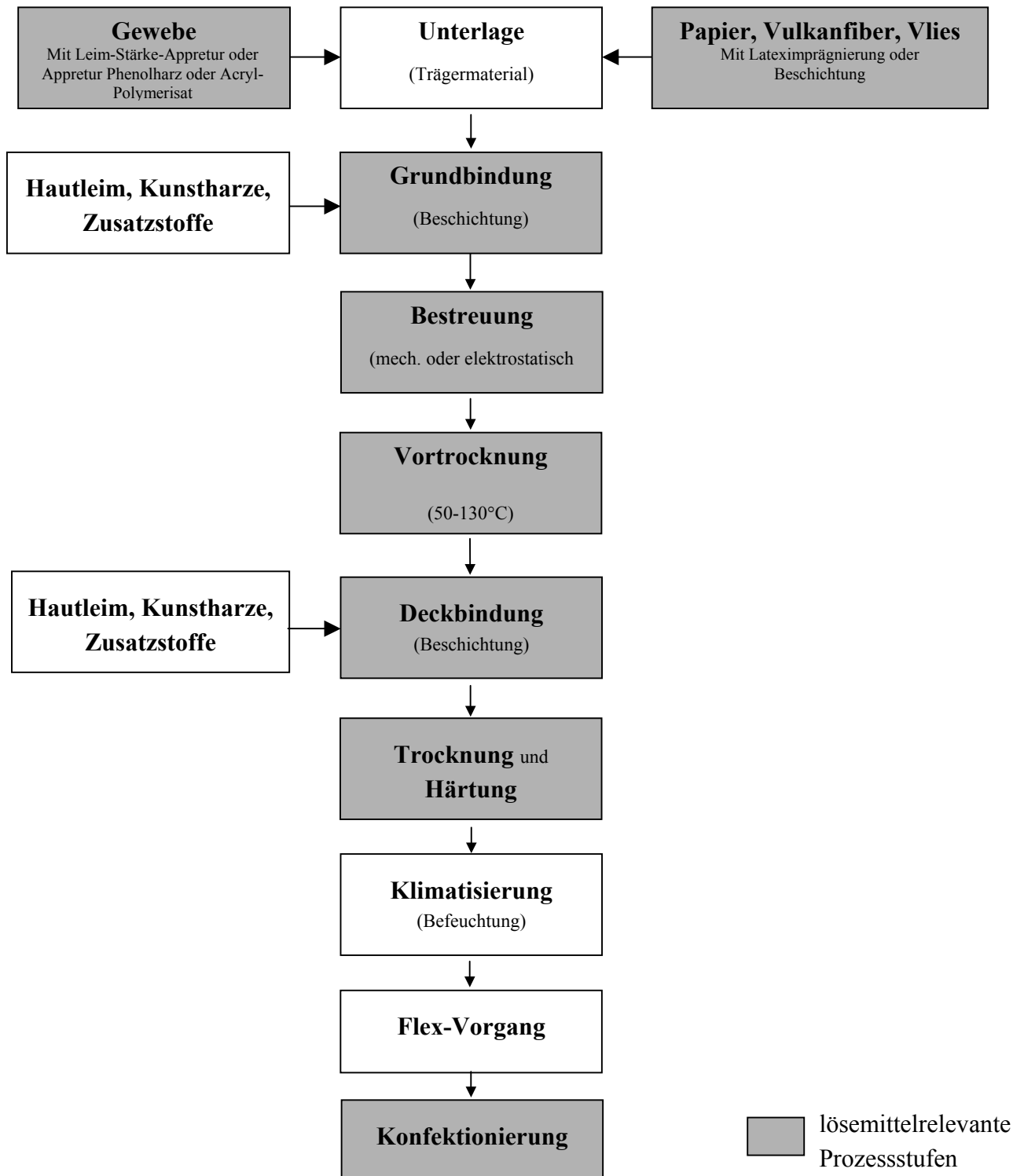


Abbildung 3-2 Schematische Darstellung Fertigungsprozess Schleifmittel auf Unterlagen (Quelle: Werksangaben)

## **Vorbehandlung von Trägermaterialien**

Die Vorbehandlung von Trägermaterialien kann, muss aber nicht in einer Anlage zur Herstellung von Schleifmitteln erfolgen.

### **a) Papier**

Die zum Einsatz gelangenden Papiere werden je nach Anwendungsbereich unterschiedlich vorbehandelt. So wird z.B. das Trägerpapier für die Herstellung wasserfester Schleifpapiere zur Hydrophobierung mit langöligen Alkydharzlösungen imprägniert. Als lösungsmittelfreie Alternative kann die Behandlung mit Latex-Dispersionen, ggf. in Kombination mit wasser- verdünnbaren Phenolresolen (zur Verbesserung der thermischen Beständigkeit) erfolgen.

### **b) Gewebe**

Für die Verwendung als Unterlage kommen folgende textile Träger zum Einsatz:

- Baumwolle
- Synthese- und Mischfasern

Je (mechanisch) flexibler ein Produkt sein soll, desto stärker muss das Bindemittel für die Gewebeausrüstung modifiziert werden. Dabei werden u.a. Phenolresole, Kautschuk- oder Kunststoffdispersionen eingesetzt.

### **c) Vulkan-Fiber**

Vulkan-Fiber wird in der Regel nicht vorbehandelt.

## **Beschichten der Trägermaterialien mit Bindemittel**

Die Bahnen des Trägermaterials werden in einer Auftragmaschine z.B. mittels Auftragwalzen mit dem jeweiligen Bindemittel beschichtet (Grundbindungsauftrag).

Die Auswahl des Bindemittels richtet sich nach dem Anwendungsprofil des Schleifmittels. Neben natürlichen Produkten wie Hautleim und Stärke oder Kunstharzen wie Exoxid-, Harnstoff-, Alkyd- und Polyurethanharzen gelangen vorwiegend Phenolharze zum Einsatz. Die Vorteile von Phenolharz gegenüber den anderen Bindemitteln liegen in einer besseren Adhäsion zum Schleifkorn und zur Unterlage, einer reduzierten Feuchtigkeitsempfindlichkeit und einer besseren thermischen Belastbarkeit. Grundsätzlich werden wässrige Phenolresole gegenüber den etwas „flexibleren“ lösemittelhaltigen Produkten aus verarbeitungstechnischen Gründen vorgezogen.

Anschließend erfolgt die Trocknung und Härtung im sog. Vortrockenhang. Die Trägerbahnen werden in langen Schlaufen über Stäbe geführt, welche durch die Temperaturzonen des mit zirkulierender Warmluft beheizten Trocknungs- und Härtekanals transportiert werden. Auf diese Weise lässt sich eine auf das Bindemittel abgestimmte Verweilzeit einstellen.

Am Ende des Trockners wird die Bahn ggf. gestreckt. Zur endgültigen Einbettung und Fixierung (Deckbindung) können weitere Bindemittelschichten aufgetragen werden.

Die Endaushärtung erfolgt bei Phenolharzen bis max. 100-140°C (je nach Unterlage und Schleifkorn) wie die Vortrocknung in einem Trockenkanal oder nach dem Aufrollen im Härtingsofen.

### **Beschichten der Unterlage mit Kornarten**

#### *Elektrostatische Streuung*

Hier durchläuft die Unterlage ein elektrostatisches Feld, wobei die mit der Grundbindung versehene Seite nach unten zeigt. Gleichzeitig wird das Schleifkorn auf einem Transportband in einem bestimmten Abstand unter der mit Bindemittel beschichteten Unterlage hergeführt. Beim Eintritt in das elektrische Feld wird das Schleifkorn elektrisch aufgeladen und sodann automatisch in Richtung auf den oberen Ladungsträger gezogen. Dabei trifft es auf die mit Bindemittel beschichtete Unterlage, dringt in die Grundbindung ein und bleibt dort sanft eingebettet haften. Das Korn wird dabei so gerichtet, dass die scharfen, spitzen Enden senkrecht zur Unterlage stehen, wodurch das Schleifmittel seine hervorragenden Schneideigenschaften erhält.

#### *Mechanische Streuung*

Vor der Einführung der elektrostatischen Streumethode wurden die Schleifmittel auf Unterlagen mittels der sogenannten Schwerkraftbestreuung beschichtet. Dieses Verfahren wird in speziellen Anwendungsbereichen auch heute noch angewendet. Das aufzubringende Schleifkorn fällt über eine Schüttvorrichtung lose im freien Fall auf die mit Grundbindung versehene Unterlage. Hierbei verankert sich der größte Teil des Kornes in der Bindemittelschicht. Das lose, nicht haftende Streugut fällt bei Laufrichtungsänderung der Unterlagenbahn in einen Auffangtrichter. Von dort kann es aufbereitet und erneut verarbeitet werden.

#### *Weitere Beschichtungen*

Im Bereich der feinen Korngrößen werden für besondere Einsatzzwecke gelegentlich Schleifmittel in einer dritten Beschichtungsart, dem Schlammverfahren, hergestellt. Hierbei wird das aufzutragende Schleifkorn, Polierpulver oder Füllstoffpulver dem Bindemittel direkt zugesetzt. Die gut durchmischte Masse wird im Sizer über im Gegenlauf arbeitende Walzen auf die Unterlage gestreift oder geschlämmt. Das vorherige Aufbringen einer Grundbindungsschicht entfällt.

## **Flexungen**

Die von der Aufrollmaschine kommenden Rollen aus Schleifgewebe, Schleifpapier oder Schleifvulkanfiber (Jumbos) müssen noch einer Nachbehandlung unterzogen werden, um das Material entsprechend seiner Qualität für den Bestimmungszweck vorzubereiten. So erfolgt nachträglich nach dem Härten und Klimatisieren ein Brechen (Flexen) der zunächst noch starren Beschichtung mit Korn und Bindemitteln. Dies wird je nach Schleifmitteltype nach speziell entwickelten Methoden ausgeführt.

Man unterscheidet zwischen Neunzig-Grad- und Kreuzflexung. Bei der Neunzig-Gradflexung wird das Schleifmittel unter Spannung mit der unbestreuten Seite über eine Flexrolle gezogen.

Der Grad der Flexung (Flexgrad) hängt davon ab, welcher Radius für das Flexeisen gewählt wird. Die Flexung wird immer nur gerade soweit vorgenommen, wie es der Verwendungszweck erfordert und die Schleifmittelqualität zulässt. Zu häufiges Brechen der Korn-Bindemittel-Auflage bei besonders starker Flexung führt zur Beeinträchtigung der Schleifleistung [Lit. 2].

### **3.2.3. Lösemittelrelevanz**

#### **Vorbehandlung der Trägermaterialien**

Folgende organische Lösemittel werden beispielsweise eingesetzt:

- Alkohole (z.B. Ethanol)
- Ester (Ethylacetat)

#### **Beschichten der Trägermaterialien**

Folgende organische Lösemittel werden beispielsweise eingesetzt:

- Ester (Ethylacetat)
- Alkohole (z.B. Butanol, Propanole, Glykole)
- Aromaten (z.B. Xylol)



### 3.2.4. Anlagenkomponenten und erforderliche Anlagendifferenzierung

Die beschriebenen Prozesse werden typischerweise in Anlagen mit folgenden Komponenten realisiert:

Abrollung	zum Einsatz kommen Abrolleinrichtungen in einer Arbeitsbreite von 900 bis 1.650 mm und einer Fahrgeschwindigkeit von 10 bis 50 m/min
Bedrucken	Verwendet werden standardmäßige Zwei- bis Dreiwalzendruckwerke
Walzenauftrag (alternativ Sprühauftrag):	Realisierung durch ein Zweiwalzenauftragswerk mit Schöpfwanne, alternativ durch ein Düsensprühaggregat
Streifeld (elektrostatisch oder mechanisch)	Einsatz eines Streufeldes mit Kondensatorplatten (ca. 30 kV oder mehr Spannung) oder Streutrichtern (Trichterauslauf auf den Träger)
Trockner (Hangstab- oder Flachbahntrockner)	Trocknertemperatur 35 bis 140 °C (im Hangstabtrockner wird die beschichtete Bahn in Schleifen aufgehängt und durchgefahren, im Flachbahntrockner wird sie als "flache Bahn" berührungslos durchgeführt)
Klimatisierung	in der Regel am Ende des Trockners in einer Dampfzone
Aufrollung	Realisierung durch angetriebene Aufrollwelle
Nachtrocknung	Verwendet wird ein kleiner dimensionierter Trockner, der die einzelnen Jumborollen in einem "Stück" aufnimmt.
Abgasreinigung	Realisierung durch Staubabscheider sowie Abgasreinigung bei 700 °C und höher in einer thermischen oder regenerativen Nachverbrennung (mit oder ohne Wärmeauskopplung), je nach betriebsspezifischen Verhältnissen und bestehendem Energie-/Wärmebedarf
Abwasserreinigung	biologische Kläranlage oder Bioreaktor
Flexung	Flexmaschine bestehend aus Abrollung, "Flexstangen" (Schleifmittelbahn wird mit der Rückseite in einem engen Umschlingungswinkel über die Flex- oder Brechstange geführt, Ware wird dadurch flexibilisiert), Aufrollung.
Konfektionieren	Schleifbandendlosverklebungen werden in Ablängmaschinen vorbereitet und unter Presseinrichtungen über Druck und Wärme zusammengeklebt. Es können lösemittelhaltige PU-Klebstoffe eingesetzt werden. Blätter, Scheiben und Rollenschnitte werden mit mechanischen Schneid- und Stanzeinrichtungen durchgeführt.

Tabelle 3-6 Anlagenkomponenten und erforderliche Anlagendifferenzierung

## Anlagendifferenzierung zum Explosionsschutz

Fertigungsanlagen zur Verarbeitung von Lösemitteln unterliegen im Gegensatz zu den Anlagen zur Verarbeitung von wässrigen Medien den „Richtlinien für die Vermeidung der Gefahren durch explosionsgefährdete Atmosphäre mit Beispielsammlung – Explosionsschutzrichtlinien (EX-RL)“ sowie den „Sicherheitsregeln für den Explosionsschutz an Durchlauftrocknern der Papierverarbeitung, ZH 1/19“.

Zur Sicherstellung eines ausreichenden Explosionsschutzes sind nachfolgend beispielhafte technische Realisierungen für eine Anlage zur Herstellung von Schleifmitteln aufgeführt. Weitere technische Lösungen sind möglich und können ebenfalls beste verfügbare Techniken darstellen.

Hiernach ist es notwendig, Explosionsschutzmaßnahmen um die Auftragsmaschinen und dem offenen Lauf der Warenbahn vorzusehen. Die offene Warenbahnführung sowie die Grundbinder- und die Deckbindermaschinen sind mit wirksamen Absauganlagen versehen. Die Überwachung erfolgt mittels geeigneter Maßnahmen, die den Gegebenheiten angepasst sind.

Alle elektrischen Einrichtungen sind, soweit erforderlich, entsprechend der Ex-RL explosionsgeschützt ausgeführt. Alle Hangantriebe sind außerhalb des Hanges (Ex-Zone 1) angeordnet. Eine Beheizung des Hanges erfolgt nur durch indirekt beheizte Luft-Wärmetauscher.

Die in den Trocknern eingetragenen Lösemittelmengen werden zu 100% der Rezeptur entnommen. Die maximale Fahrgeschwindigkeit der Fertigungslinie erfolgt rechnerisch bei 50 % UEG (Untere Explosionsgrenze) des Stoffes mit der niedrigsten Zündtemperatur. Die Anlage ist entsprechend elektrisch verriegelt.

Der Trockner wird zur Erreichung eines Unterdruckes und zur Sicherstellung der 50% UEG-Grenze ständig mit einer festgelegten Abluftmenge betrieben.

Die Abluftströme werden über eine Sammelleitung einer Abgasreinigungsanlage zugeführt. Die Gesamtabluftmengen werden überwacht. Die Anlagen erreichen Emissionswerte von weniger als 20 mg org. C/m<sup>3</sup>, weniger als 100 mg NO<sub>x</sub>/m<sup>3</sup> und weniger als 100 mg CO/m<sup>3</sup>. Die Grenzwerte für Phenol und Formaldehyd von 20 mg/m<sup>3</sup> werden ebenfalls eingehalten.

Der Streuraum ist mit einer Absaugungsanlage ausgestattet und wird ebenfalls überwacht.

Die Grundbinder- und Deckbinderauftragsmaschinen sowie die elektrostatische Streumaschine werden durch Löschanlagen gesichert.

Der Vor- und der Haupttrockner sind komplett mit innen geführten Löschanlagen ausgerüstet (Trockensteigleitungen).

### 3.3. Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte

#### Gesamtbilanz Anlage 1

Gesamtbilanz einer Schleifmittelanlage mit einem typischen Produktionsmix der verschiedenen Bindungstypen:

- Hautleim (lösemittelfrei)
- Teilkunsthharz (lösemittelfrei)
- Vollkunsthharz (nahezu lösemittelfrei)
- Wasserfest (lösemittelhaltig)

Die Bilanz wurde für eine normierte Produktmenge von 10.000 t/a auf der Basis von realen Bilanzdaten erstellt. Die Kapazität der realen Anlage entspricht in etwa der normierten Produktmenge. Die angegebenen Konzentrationen des Outputs sind Halbstundenmittelwerte.

Input		Output	
Rohstoffe			
Papier/Gewebe	4.701 t/a	Produkt	10.000 t/a
Schleifkorn	3.214 t/a	Abfälle zur Verbrennung	77 t/a
Bindemittel (inkl. Phe- nole und andere Kunstharze)	2.436 t/a	Abfälle zur Beseitigung	37 t/a
		besonders überwachungs- bedürftige Abfälle	116 t/a
Lösemittel			
Wasser	827 t/a	Wasser	827 t/a
org. Lösemittel	275 t/a	ungefasste organische Lösemittlemissionen	38 t/a
		TOC nach thermischer Nachverbrennung	< 20 mg/m <sup>3</sup>
		NO <sub>x</sub> nach thermischer Nachverbrennung	< 100 mg/m <sup>3</sup>
		CO nach thermischer Nachverbrennung	< 100 mg/m <sup>3</sup>
		Bezugssauerstoff einer TNV oder RNV: 18-21%	

Energie			
Strom	3.007.243 kWh/a		
Gas	21.871.076 kWh/a		
Heißwasser	16.379.075 kWh/a		

Tabelle 3-7 Gesamtbilanz Anlage 1 - Schleifmittelproduktion

## Gesamtbilanz der Anlage 2

Bei der Anlage 2 wird ausschließlich Gewebe ausgerüstet (imprägniert). Die Anlage selbst wäre nach gegenwärtigem Erkenntnisstand aufgrund der Mengenschwelle nicht IVU-relevant, sie dokumentiert jedoch typische Werte für den beschriebenen Produktionsprozess und ist deshalb hier aufgenommen. Dieses Gewebe dient als Träger für die Fertigung von Schleifmitteln auf Unterlagen (die Schleifmittelproduktion wird an einem separaten Standort durchgeführt). Es werden leichte und schwere Baumwoll- sowie schwere Polyestergerewebe und –gewirke ausgerüstet. Die nachfolgenden Zahlen beziehen sich ausschließlich auf Gewebeausrüstung, ohne Schleifmittelproduktion. Die Schleifmittelproduktion ist als Anlage 3 beschrieben. Die Bilanz wurde für eine normierte Produktmenge von 10.000 t/a auf der Basis von realen Bilanzdaten erstellt. Die Kapazität der realen Anlage entspricht in etwa der Hälfte der normierten Produktmenge. Die angegebenen Konzentrationen des Outputs sind Halbstundenmittelwerte.

Input		Output	
Rohstoff			
Rohgewebe	8.101 t/a	ausgerüstetes Gewebe	10.000 t/a
entspricht	24.261.025 m²/a	entspricht	24.261.025 m²/a
Phenolharz	1.002 t/a	bes. überwachungsab. Abfälle.	185 t/a
Latices	2.104 t/a	Abfälle zur Beseitigung	133 t/a
Hautleim/Stärke	585 t/a	Abfälle Verwertung	484 t/a
Zuschlagstoffe	670 t/a	Papierabfälle	117 t/a
Lösemittel			
Lösemittel	125 t/a	ungefasste organische Lösemittelemissionen	12 t/a
		TOC	< 20 mg/m³
		NO <sub>x</sub>	< 100 mg/m³
		CO	< 100 mg/m³
		Staub	< 10 mg/m³
		Bezugssauerstoff einer TNV oder RNV: 18 bis 21%	

Hilfsstoffe			
Frischwasser	101.630 m³/a	Abwasser	
		Fabrikation	46.750 m³/a
		Kühlung	8.794 m³/a
		Verdampfung	21.752 m³/a
		Sanitär	7.692 m³/a
		Reinigung	16.639 m³/a
Energie			
Energie	46.258.325		

Tabelle 3-8 Gesamtbilanz Anlage 2 - Schleifmittelproduktion

### Gesamtbilanz der Anlage 3

Die folgenden Angaben beziehen sich auf einen Standort mit der Herstellung von Schleifmitteln auf Unterlagen. Erfasst sind mehrere Produktionsmaschinen (ohne Vorbehandlung der Träger). Es werden Handschleif- und Trockenschleifpapiere, wasserfeste Papier- sowie Gewebeschleifmittel, leichte, mittelschwere sowie schwere Gewebequalitäten und Schleifvliesprodukte hergestellt. Die Bilanz wurde für eine normierte Produktmenge von 5.000.000 m²/a auf der Basis von realen Bilanzdaten erstellt. Die Kapazität der realen Anlage liegt etwas über der normierten Produktmenge. Die angegebenen Konzentrationen des Outputs sind Halbstundenmittelwerte.

Input		Output	
Rohstoff			
Trägermaterial (Papier/ausger. Gewebe)	5.000.000 m²/a	Produkt	5.000.000 m²/a
Schleifkörnung	992 t/a		
Lösemittel			
Lösemittel	259 t/a	ungefasste organische Lösemittelemissionen:	30,1 t/a
		TOC	
		NO <sub>x</sub> :	< 20 mg/ m³
		CO	<100 mg/ m³
		Staub	<100 mg/ m³
			< 10 mg/ m³
		Bezugssauerstoff einer TNV oder RNV: 18 bis 21%	

Phenolharze u. andere Kunstharze (inkl. Lösemittel- anteil)	520 t/a		
Latices	22,2 t/a		
Hilfsstoffe			
Frischwasser	32.063 m³/a		
Energie			
Gas und Strom	34.831.581 kWh/a		

Tabelle 3-9 Gesamtbilanz Anlage 3 - Schleifmittelproduktion

### 3.4. Ermittlung der BVT-Kandidaten

Folgende Techniken bzw. Maßnahmen kommen als BVT-Kandidaten in Frage:

#### 3.4.1. Luftemission

##### Abgasreinigung durch TNV oder RNV

Bei einem Abgasvolumenstrom von bis zu 66.000 Nm³/h erreichen die Anlagen Emissionswerte von < 20 mg org. TOC/m³ (Halbstundenmittelwert). Während der Produktionszeit können RNV-Anlagen typischerweise autotherm betrieben werden (ab ca. 2 bis 3 g/m³ Lösemittel im Abgas).

##### Einsatz von Staubabscheidern

Es werden Taschenfilter-Staubabscheider unterschiedlicher Bauart verwendet.

Die erreichbaren Emissionswerte hängen von Staubart, Konstruktion und Filtermedium des Staubabscheiders ab. In Einzelfällen werden Werte unter 10 mg/m³ Reststaubkonzentration erreicht, typischerweise werden 20 mg/m³ Reststaubkonzentration eingehalten.

##### Einsatz von lösemittelarmen bzw. lösemittelfreien Rezepturen

Ein Einsatz von lösemittelarmen bzw. lösemittelfreien Rezepturen ist für Trockenschleifpapiere Standard, bei Gewebe zum Teil realisierbar und bei Nassschleifmittel in der geforderten Produktqualität gegenwärtig in der Praxis nicht erreichbar.

### 3.4.2. Wasseremissionen

#### Abwasserbehandlungsanlagen

Bei der Reinigung von Maschinenteilen in der Schleifmittelproduktion kann phenol- und fluoridhaltiges Abwasser anfallen. Für die Behandlung der Abwässer eignen sich Abwasserbehandlungsanlagen mit folgenden Arbeitsgängen

- Neutralisation
- Fluoridfällung
- Filtration
- biologische Klärung
- und einem optimierten Abwasservolumen

Entsprechende Anlagen erreichen oder unterschreiten für Indirekteinleiter permanent folgende Werte:

Gesamtphenol	75 mg/l
wasserdampfgefährliches Phenol	20 mg/l
Fluorid	40 mg/l
Sulfat	200 mg/l
Eisen	1 mg/l
Aluminium	1 mg/l
Zink	1 mg/l

Für Abwasseremissionen aus Betrieben, die die unterschiedlichsten Schleifmittel herstellen, gibt es in Deutschland keine bundeseinheitlichen Anforderungen in branchenspezifischen Anhängen entsprechend der Abwasserverordnung. Eine Aufnahme dieser Branche in die Abwasserverordnung wird derzeit nicht diskutiert.

Es obliegt der jeweiligen zuständigen Genehmigungsbehörde Anforderungen an das Abwasser, das in eine öffentliche Abwasserbehandlungsanlage eingeleitet werden soll, festzulegen. Die oben genannten Werte unterschreiten die von der Genehmigungsbehörde festgelegten Grenzwerte deutlich.

Folgende Techniken und Maßnahmen kommen zur Optimierung des Abwasservolumens als BVT-Kandidaten in Frage:

- neben den biologischen Abwasserbehandlungsanlagen (z.B. Bioreaktor) können auch Biofiltersysteme eingesetzt werden
- eine optimierte Abtrennung der konzentrierten Bindemittel von der Abwasserlinie vereinfacht die Abwasserreinigung. Das Volumen wird vermindert und das Verfahren wird wirtschaftlicher
- konzentrierte Abwasserarten können als Abfall deklariert und verbrannt werden

### **3.4.3. Abfall**

Je nach Produktspektrum fallen bei der Konfektionierung von Schleifmitteln Verschnittmengen in Form von Randschnittrollen und Stanzgittern an. Diese Mengen können z.T. als Wertstoff vom Abfall getrennt werden und nach einem weiteren Konfektionierungsschritt am Markt verkauft werden. Diese Maßnahme hat ebenso wie vergleichbare Möglichkeiten jedoch überwiegend organisatorischen Charakter und führt daher zu keinen BVT-Kandidaten.

### **3.4.4. Risiko**

- Einsatz von lösemittelarmen bzw. lösemittelfreien Rezepturen
- Wirksame Absaugungsanlagen bei einer offenen Warenbahnführung sowie um Grundbinder- und Deckbinderauftragsmaschinen
- Anordnung von Hangantrieben außerhalb des Hanges (Ex-Zone 1), Beheizung des Hanges nur durch indirekt beheizte Luft-Wärmetauscher
- Betreiben des Trockners mit festgelegter Abluftmenge
- Sicherung von Grundbinder- und Deckbinderauftragsmaschinen sowie elektrostatischen Streumaschinen durch Löschanlagen



### 3.5. Auswahl und Empfehlungen bezüglich bester verfügbarer

#### Techniken

Eine überschlägige Bewertung der BVT-Kandidaten liefert folgendes Bild, bei dem ↓ eine sinkende und ↑ eine steigende Umweltbelastung bedeutet. (1) bei der Kosten/Nutzen Relation bedeutet eine Differenzierungsnotwendigkeit mit nachfolgendem Kommentar, "ok" bedeutet, dass die Technik gemäß IVU Richtlinie als verfügbar angesehen werden kann.

Techniken	L	A	W	E	R	Lärm	Risiko	Kosten/ Nutzen Relation
Abgasreinigung durch TNV oder RNV	↓			↓				ok
Einsatz von Staubabscheidern	↓	↑ (1)						ok
Einsatz von lösemittelfreien bzw. lösemittelfreien Rezepturen	↓						↓	(2)
innovative Abwasserbehandlungsanlagen			↓					ok
Wirksame Absaugungsanlagen bei einer offenen Warenbahnführung sowie um Grundbinder- und Deckbinderauftragsmaschinen							↓	ok
Anordnung von Hangantrieben außerhalb des Hanges (Ex-Zone 1), Beheizung des Hanges nur durch indirekt beheizte Luft-Wärmetauscher							↓	ok
Betreiben des Trockners mit festgelegter Abluftmenge							↓	ok
Sicherung von Grundbinder- und Deckbinderauftragsmaschinen sowie elektrostatischen Streumaschinen durch Löschanlagen							↓	ok

L = Luft; A = Abfall; W = Wasser; E = Energie; R = Ressourcen

Tabelle 3-10 Überschlägige Bewertung der BVT-Kandidaten - Schleifmittelproduktion

## **Kommentare**

(1) Ein höheres Abfallaufkommen ist zwingende Folge eines effizienten Staubabscheiders, der die Luftbelastung reduziert, da ein Einsatz der Stäube in der Produktion nicht möglich ist. Im Sinne einer integrierten Bewertung überwiegt der "Luftvorteil" den Nachteil eines höheren Abfallaufkommens deutlich.

(2) Für den Einsatz von lösemittelhaltigen Bindemittelsystemen bei Nassschleifpapier kann eine technologische Notwendigkeit gegeben sein. Folgende Argumente werden angeführt:

- hohe Spannbreite in der Einstellung der Flexibilitätsgrenzen gegenüber anderen Harzsystemen
- allergologisch günstige Eigenschaften beim Hand-Nassschliff-Einsatz
- gute Filmbildungseigenschaften bei der Erzeugung geringster Auftragsmengen bei Feinstkörnungen
- energiearme Fertigung  
Härtung bei 60°C gegenüber 120 – 140°C bei Phenolharzsystemen.

Die Kosten/Nutzen-Relation in Verbindung mit technologischen Erfordernissen legt es nahe, dass ein Einsatz von Lösemitteln bei Nassschleifmitteln gegenwärtig notwendig ist. Mit dieser Einschränkung können die BVT-Kandidaten als BVT empfohlen werden.

Die in Deutschland als BVT-Kandidaten eingesetzten Technologien und Maßnahmen weisen bei wirtschaftlich vertretbaren Kosten-Nutzen-Relationen einen vergleichbar hohen Standard auf.

### **3.6. Neue fortschrittliche Verfahren**

#### *Neue, schnellere Trocknungs- und Härtingsverfahren*

Bereits seit mehreren Jahren sind diesbezüglich Patente verfügbar, die beispielsweise einen Einsatz von UV-Strahlung oder Mikrowellenverfahren vorsehen. Keine dieser Entwicklungen wird jedoch nach gegenwärtiger Einschätzung in den nächsten Jahren zu Änderungen an den in der Praxis installierten Anlagen führen.

## Sollvorgaben aus Regelwerken

Die Herstellung von Schleifmitteln beinhaltet unter anderem die Beschichtung von Gewebe und Papieroberflächen und ist damit eine Beschichtungstätigkeit im Sinne von Anhang II Punkt 10 der 31. BImSchV.

Für Anlagen mit mehr als 15 t Lösemittelverbrauch pro Jahr sind in Anhang III der 31. BImSchV folgende Emissionsgrenzwerte vorgesehen:

<b>Tätigkeit</b>		<b>Emissionsgrenzwert für gefasste Abgase</b> [mg C/m <sup>3</sup> ]	<b>Grenzwert für diffuse Emissionen</b> [in % der eingesetzten Lösemittel]
10.1	Anlagen zum Beschichten oder Bedrucken von Textilien und Geweben	50 <sup>1)</sup> 20 <sup>1), 2)</sup> 75 <sup>3)</sup>	10
<b>Tätigkeit</b>		<b>Emissionsgrenzwert für gefasste behandelte Abgase</b> [mg C/m <sup>3</sup> ]	<b>Grenzwert für diffuse Emissionen<sup>4)</sup></b> [in % der eingesetzten Lösemittel]
10.2	Anlagen zum Beschichten von Folien- oder Papieroberflächen	50 <sup>1)</sup> 20 <sup>1), 2)</sup>	10

1) für Beschichten und Trocknen

2) bei Anwendung von Abgasreinigungseinrichtungen mit thermischer Nachverbrennung

3) gilt für Anlagen mit Wiederverwendung organischer Lösemittel

4) flüchtige organische Verbindungen, die in gefassten unbehandelten Abgasen enthalten sind, zählen zu den diffusen Emissionen

Tabelle 3-11 Emissionsgrenzwerte gemäß 31. BImSchV

Nach der 4. BImSchV ist ein Genehmigungsverfahren für folgende Anlagen gemäß Punkt 5.1 erforderlich

- *"Anlagen zur Behandlung von Oberflächen von Stoffen, Gegenständen oder Erzeugnissen einschließlich der dazugehörigen Trocknungsanlagen unter Verwendung von organischen Lösungsmitteln, insbesondere zum Appretieren, Bedrucken, Beschichten, Entfetten, Imprägnieren, Kaschieren, Kleben, Lackieren, Reinigen oder Tränken mit einem Verbrauch an organischen Lösungsmitteln von 150 Kilogramm oder mehr je Stunde oder von 200 Tonnen oder mehr je Jahr.*

Ein vereinfachtes Genehmigungsverfahren nach der 4. BImSchV ist in folgenden Fällen erforderlich nach Punkt 5.8 Spalte 2 bei

- *"Anlagen zur Herstellung von Gegenständen unter Verwendung von Amino- oder Phenoplasten, wie Furan-, Harnstoff-, Phenol-, Resorcin- oder Xyloharzen mittels Wärmebehandlung, soweit die Menge der Ausgangsstoffe 10 Kilogramm oder mehr je Stunde beträgt"*

sowie nach Punkt 5.10 Spalte 2 bei

- *"Anlagen zur Herstellung von künstlichen Schleifscheiben, -körpern, -papieren oder -geweben unter Verwendung organischer Binde- oder Lösungsmittel, ausgenommen Anlagen, die von Nr. 5.1 erfasst werden".*
- *Weiterhin wird in der 4. BImSchV der Punkt 10.23 Spalte 2, "Anlagen zur Textilveredlung....." genannt*

Je nach Anlage können weitere Vorschriften aus den Immissionsschutz-, Abfall- und Abwassergesetzen sowie zugehörigen Verordnungen relevant sein. Nach einer ersten Einschätzung der Branche ergeben sich keine verschärften Anforderungen im Vergleich zu bestehenden deutschen Gesetzen.

## 4. Reifenherstellung

### 4.1. Allgemeine Informationen

Bei der Herstellung von Reifen werden insbesondere bei Beschichtungsvorgängen organische Lösemittel in IVU-relevanten Mengen eingesetzt. Der Lösemiteleinsatz betrifft sowohl die Neuproduktion als auch die Runderneuerung von Reifen. Da die Reifen zum größten Teil aus Kautschuk (Naturkautschuk und Synthetikautschuk) bestehen, werden die korrespondierenden Herstellungsprozesse der Gummi- und Kautschukindustrie zugeordnet.

#### Produktions- und Absatzzahlen

1999 wurden in Deutschland von 5 Unternehmen insgesamt ca. 771.000 t produziert. Den größten Anteil hatten dabei Pkw-Reifen mit ca. 50,5 Mio. Reifen. Der Gesamtumsatz in der Branche lag für 1999 bei über 11 Mrd. DM [Lit. 3].

Ein Teil des Gesamtreifenbedarfs wird durch die Runderneuerung von abgefahrenen Reifen gedeckt. Derzeit gibt es in Deutschland ca. 130 Betriebe, die eine Runderneuerung durchführen. Der Anteil runderneuerter Reifen zu Neuproduktion betrug 1998 ca. 11 %. Vor allem die teureren LKW-Reifen werden einer Runderneuerung zugeführt.

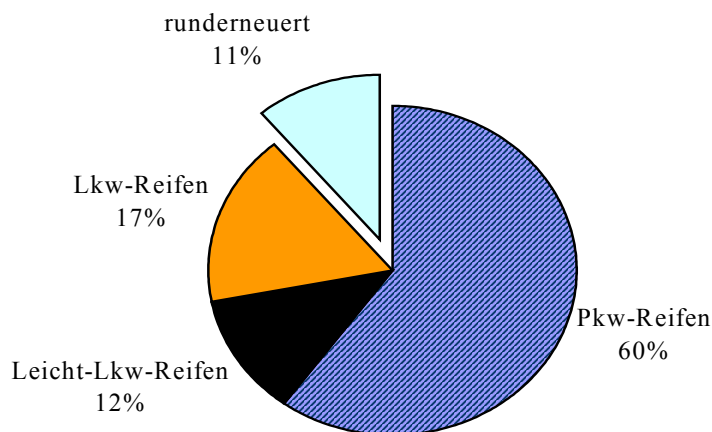


Abbildung 4-1 Anteil der runderneuerter Reifen an der Gesamtproduktion 1998, Quelle: Wirtschaftsverband der deutschen Kautschukindustrie

Für die Untersuchung von Herstellungsprozessen von Reifen werden Gürtelreifen als Produkt zugrundegelegt, da die Produktion von Diagonalreifen in Deutschland praktisch kaum mehr relevant ist [Lit. 3].

## Charakterisierung des Produkts "Reifen" und Qualitätsanforderungen

Grundsätzlich setzt sich ein Reifen aus folgenden Einzelkomponenten zusammen:

- Karkasse (luftvolumenumschließender Unterbau)
- Stahlgürtel aus mehreren Lagen (Stahlcord)
- zwei Wulstringen (Wulstkabel)
- Lauffläche
- Seitenteile
- sonstige Bauteile

Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen, die an Reifen gestellt werden (z.B. Pkw-, Lkw-, Nutzfahrzeug-, Flugzeugreifen, Sommerreifen, Winterreifen) können die zur Reifenerstellung benötigten Kautschukmischungen sowie deren Zusammensetzung z.T. stark variieren. Damit sind auch schwankende und zudem von einzelnen Herstellungsverfahren abhängige Lösemittelverbräuche zu berücksichtigen.

Beispiel einer typischen Kautschukrezeptur für Pkw-Reifen [Lit. 4]:

42,0 %	Naturkautschuk
18,0 %	Synthesekautschuk (z.B. Polybutadien)
28,5 %	Füllstoff (Ruß)
0,1 %	Peptisiermittel (z.B. Pentachlorthiophenol)
1,2 %	Dispergiermittel (z.B. Stearinsäure)
1,2 %	Alterungsschutzmittel (z.B. Paraphenylendiamine)
0,9 %	Lichtschutzwachse (Paraffine)
3,0 %	Weichmacher (hocharomatische Öle)
1,5 %	Vernetzungsmittel (meist Schwefel)
0,6 %	Vulkanisationsbeschleuniger (z.B. Sulfenamide)
3,0 %	Beschleunigeraktivator (z.B. Zinkoxid)

Seit einigen Jahren werden Versuche gefahren, Gummigranulat aus Altreifen als Sekundärrohstoffe in die Kautschukmischung einzubringen. Schon geringe Zugaben von Altgummi-  
granulaten führen zu Qualitätseinbußen. Bis zu einer Obergrenze von 1-2 Gewichtsprozent scheint der Qualitätsverlust, unter Sicherheitsaspekten, noch vertretbar zu sein.

Der wichtigste Rohstoff bei der Reifenproduktion ist Natur- bzw. Synthekautschuk. Unter Zugabe von verschiedenen Füll- und Zusatzstoffen wird daraus eine Kautschukmischung hergestellt. Weitere wichtige Ausgangsstoffe bei der Reifenherstellung sind Textilfasern sowie Stahldraht. Lösemittel werden bei der Reifenproduktion als Hilfsstoffe eingesetzt, d.h. sie werden nur zur Unterstützung des Herstellungsprozesses eingesetzt und gehen nicht in das Produkt ein.

### **Qualitätsanforderungen**

Die bei der Herstellung von Reifen zu beachtenden gesetzlichen Anforderungen und technischen Standards sind vielfältig und umfangreich. Die wichtigsten Vorschriften sind:

- Richtlinie 92/23 EWG
- ECE Regelungen, europaeinheitliche Anforderungen and die Beschaffenheit von Reifen:
  - ECE 30 für Nutzfahrzeuge
  - ECE 54 für Kraftfahrzeuge
  - ECE 75 für Zweiräder
- ISO Standards (z.B. ISO 4000, 4209, 34)
- FMVSS (Federal Motor Vehicle Safety Standards, US Regelung)
  - Da Reifen weltweit vertrieben oder auf Fahrzeugen für den Export montiert werden, sind diese Anforderungen einzuhalten.
- wdk-Leitlinien

## 4.2. Angewandte Verfahren und Techniken

### 4.2.1. Übersicht über den Herstellungsprozess

Sowohl bei der Herstellung von Neureifen als auch bei der Runderneuerung sind verschiedene Beschichtungsprozesse erforderlich (z.B. Beschichten mit einer Klebeschicht), bei denen organische Lösemittel eingesetzt werden.

Die Herstellung von Neureifen folgt im Wesentlichen folgendem Schema:

Verfahrensschritte	Lösemittelseinsatz
Herstellung der Fertigmischung	nein
Herstellung des gummierten Textildcordes	nein
Herstellung des gummierten Stahlcordes	nein
Herstellung Wulstringe	zum Teil
Herstellung der Laufflächen und Seitenteile	zum Teil
Fertigstellung des Reifens	zum Teil
Nachbehandlung	zum Teil

Tabelle 4-1 Lösungsmittelrelevanz von Teilprozessen der Reifenherstellung

Die folgende Abbildung zeigt ein grundsätzliches Schema eines Produktionsablaufs zur Reifenherstellung:



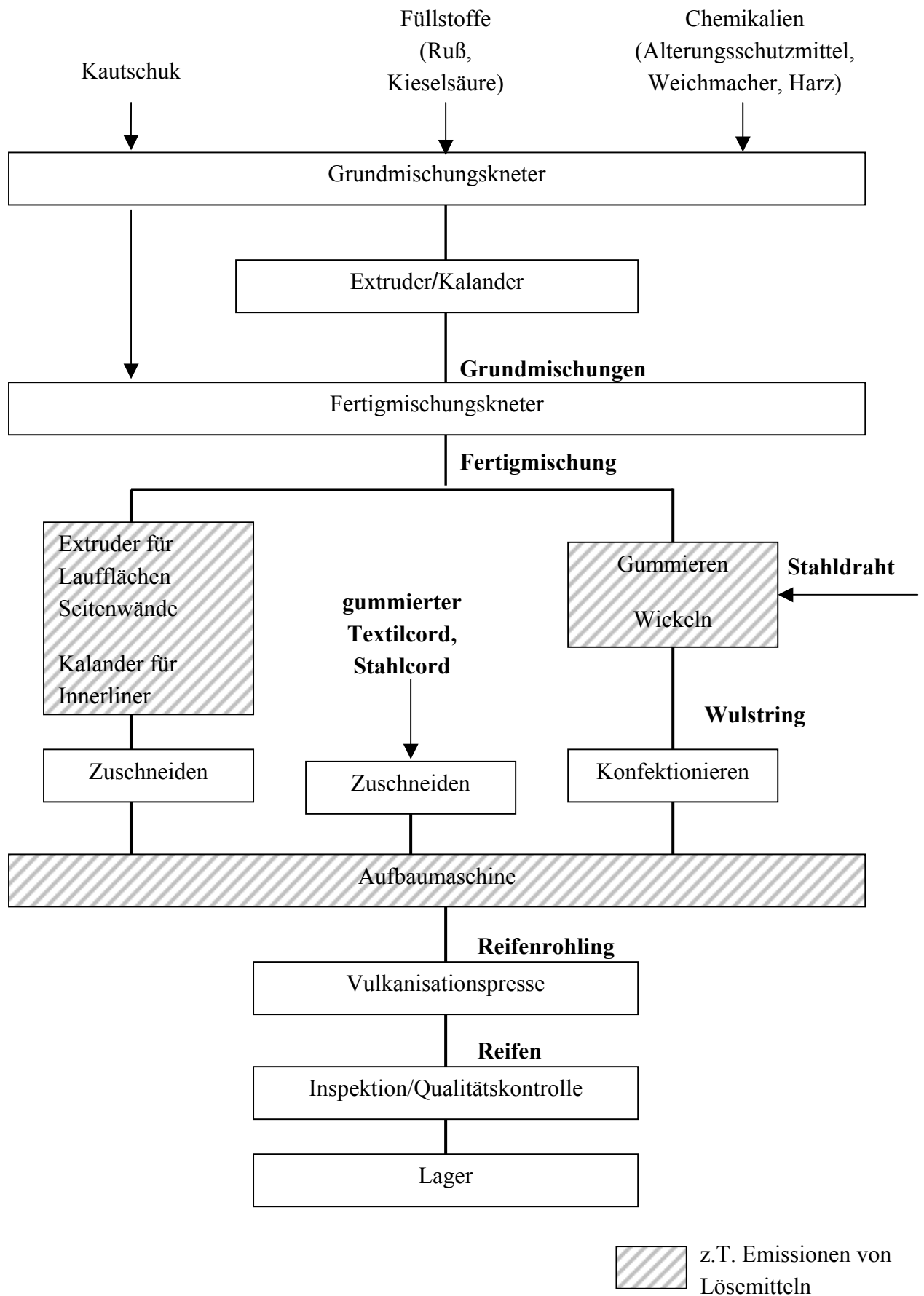


Abbildung 4-2 Produktionsablauf der Reifenherstellung [Lit. 6]

#### 4.2.2. Prozessstufen und Verfahrensfliessbilder

##### Herstellung der Fertigmischung

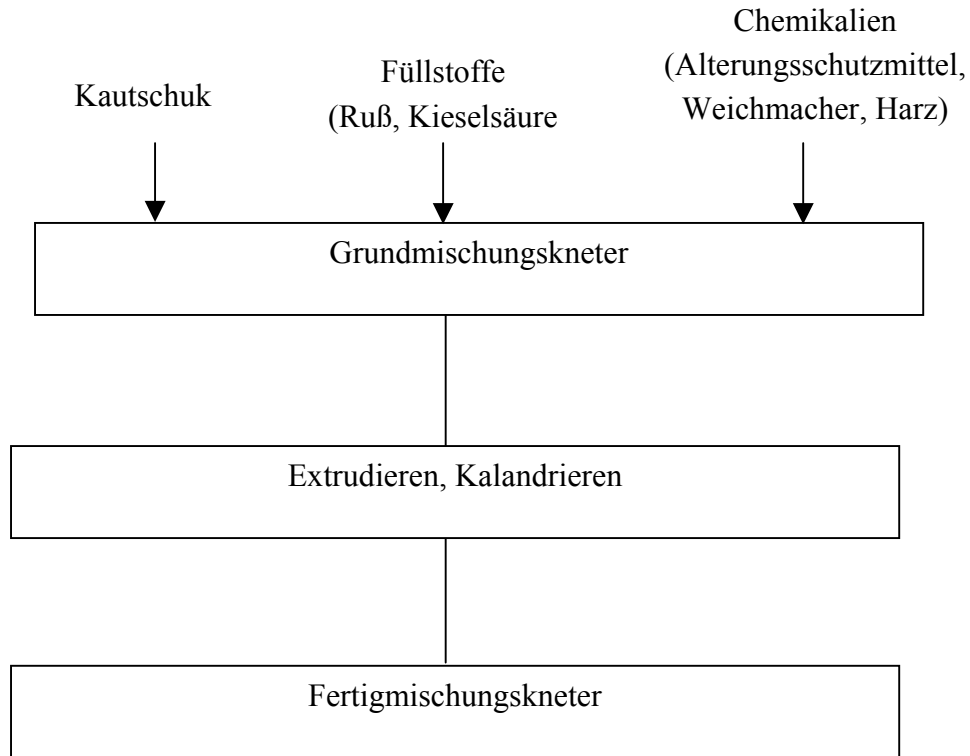


Abbildung 4-3 Herstellung der Fertigmischung

Die Rohstoffe werden entsprechend der Rezeptur verwogen, in den Kneter eingefüllt und anschließend zu einer Grundmischung verarbeitet. Die Grundmischung wird z.B. mit Hilfe einer Kautschuk-Bandspritzmaschine (Extruder) und nachgeschaltetem Kalandrierer kontinuierlich zu einer Mischungsbahn verarbeitet.

In einem zweiten Mischvorgang wird daraus unter Zugabe von Vulkanisationsmitteln eine Fertigmischung hergestellt. [Lit. 6]

## Herstellung des Textilcordes

Der Textilcord gibt dem luftvolumenumschließenden Unterbau des Reifens die notwendige Festigkeit. Er besteht aus gummierten Cordgewebeschichten, deren Fäden quer zur Lauf- richtung des Reifens angeordnet werden (Radialreifen).

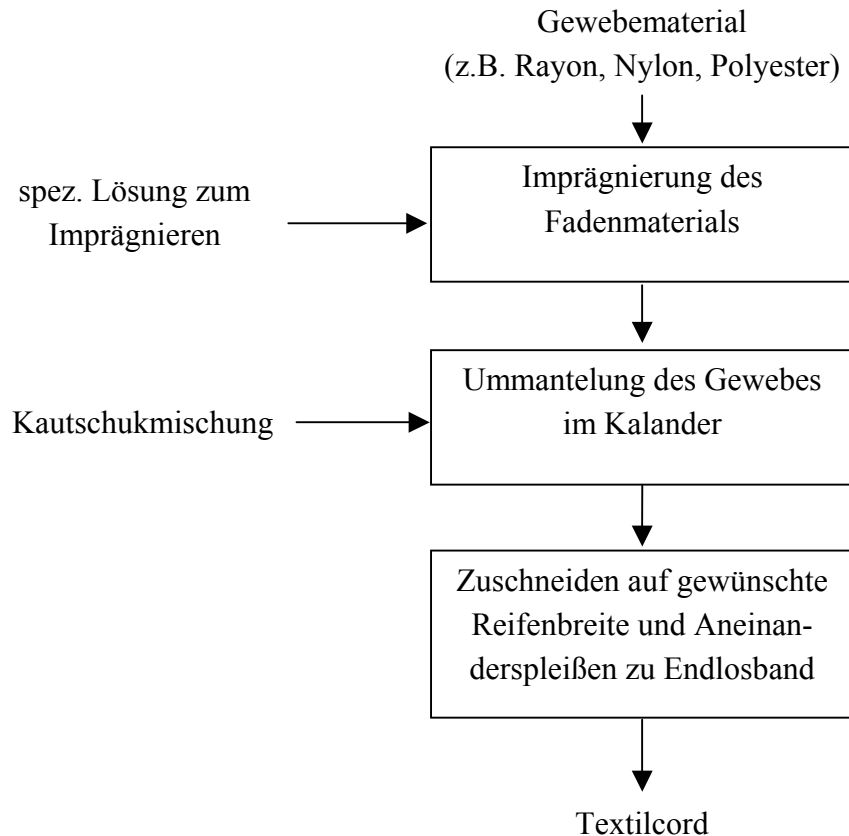


Abbildung 4-4 Herstellungsprozess des Textilcordes

Zur Herstellung des Cordgewebes, das fast ausschließlich aus Längsfäden besteht und nur in größeren Abständen zum Parallelhalten der Längsfäden mit Quersfäden durchzogen ist, werden überwiegend vollsynthetische Fasern (z.B. Nylon, Rayon, Polyester) verwendet).

Diese werden im ersten Schritt mit einer Lösung imprägniert bzw. getränkt, wodurch der Faden "gummifreundlich", d.h. aufnahmefähiger für die im nächsten Schritt erfolgende Ummantelung mit der Kautschukmischung gemacht wird. Beim Imprägnieren des Fadenmaterials werden keine organischen Lösemittel eingesetzt. Überwiegend findet das Imprägnieren des Textilgewebes bereits in der Textilindustrie statt.

Die beidseitige Ummantelung des Gewebes mit der Kautschukmischung erfolgt in einem Kalanders.

Anschließend wird das breite Gewebestück in Streifen entsprechend der späteren Reifenbreite zugeschnitten und zu einem Endlosband zusammengespleißt.

## Herstellung des Stahlcordes

Der Stahlcord gehört zusammen mit den Textilcorden zu den Festigkeitsträgern des Reifens. Als Ausgangsmaterial wird Stahldraht verwendet, der zuerst verdreht und anschließend zu Cordgewebe verarbeitet wird. Alternativ zu Stahldraht werden inzwischen zur Gewichtsreduzierung auch hochfeste Kunststoffe (z.B. Aramid) verwendet.

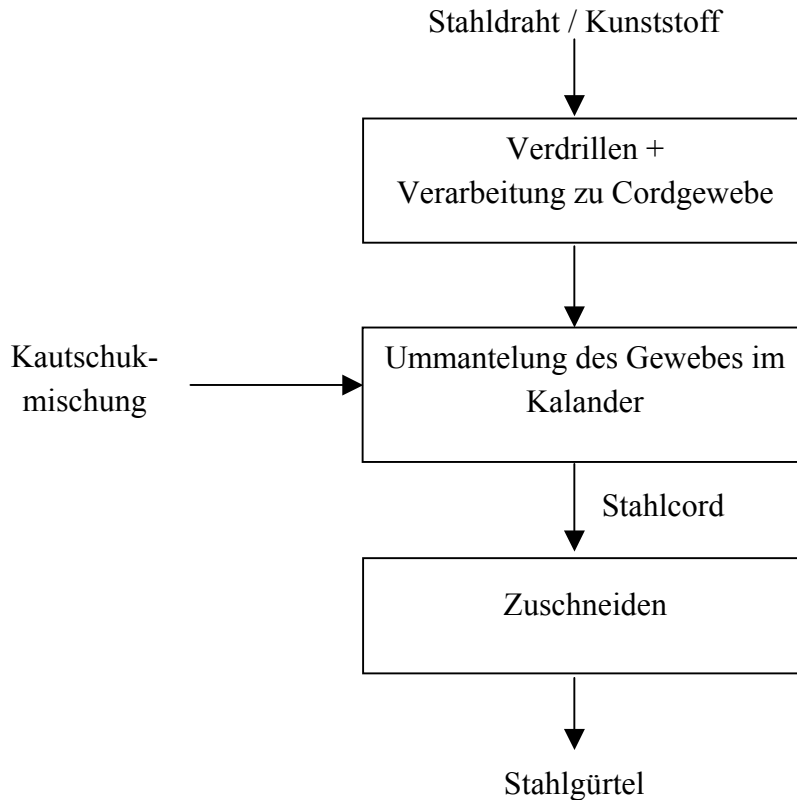


Abbildung 4-5 Herstellungsprozess des Stahlgürtels

Der Stahlcord wird ebenso wie der Textilcord in einem Kalanders mit einer Kautschukmischung ummantelt und auf die entsprechende Reifenbreite zugeschnitten. Auf einer Wickeltrommel werden abschließend jeweils zwei Lagen gekreuzt und zu einem Stahlgürtel zusammengefügt.

## Herstellung Wulstringe

Die Wulstringe sind dafür verantwortlich, dass der Reifen fest und sicher auf der Felge fixiert wird.

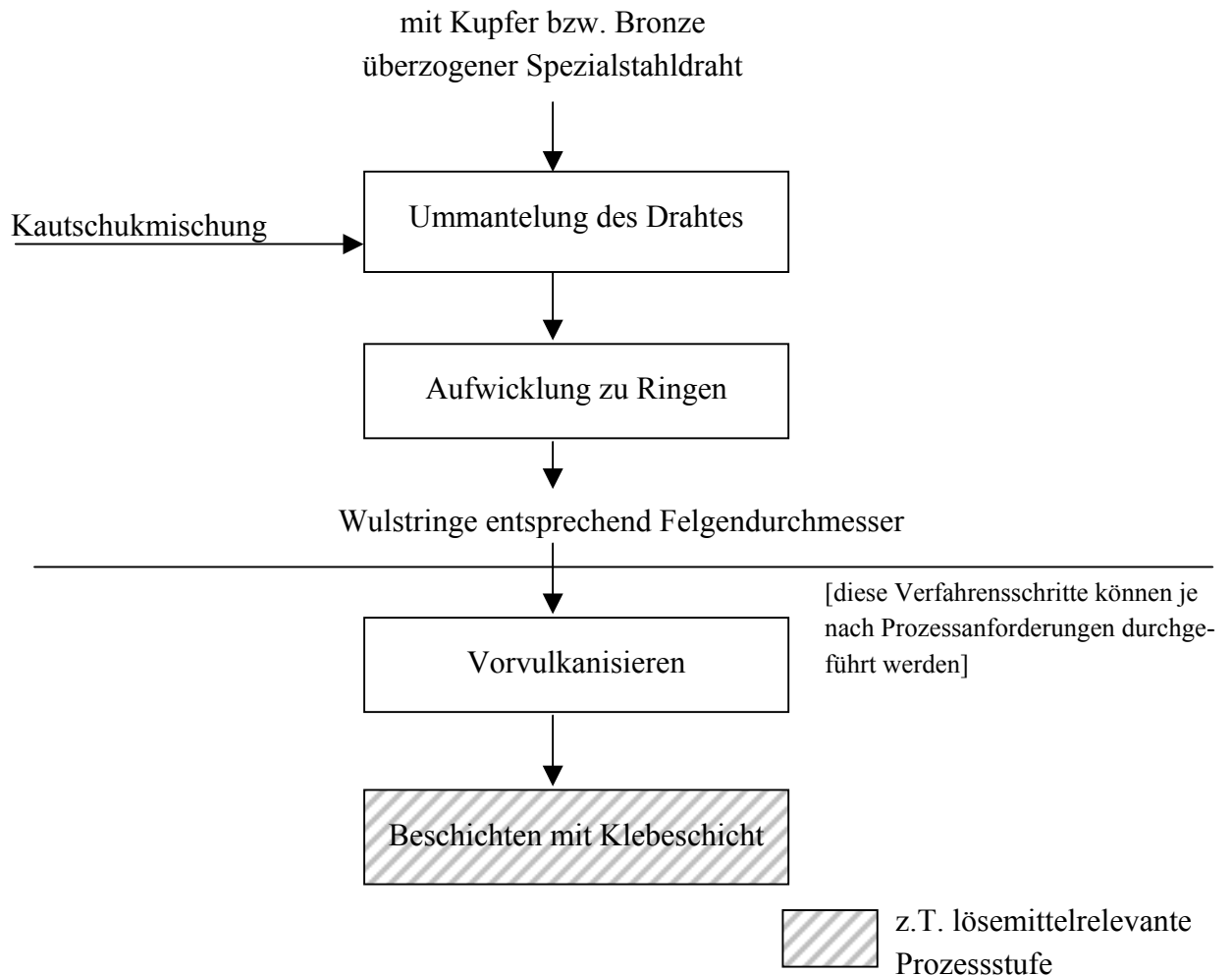


Abbildung 4-6 Herstellungsprozess der Wulstringe

Zur Herstellung der Wulstringe wird ein mit Kupfer oder Bronze überzogener Spezialstahl einzeln oder mehrfach nebeneinanderliegend mit einer Kautschukmischung ummantelt und anschließend zu Ringen entsprechend dem Felgendurchmesser aufgewickelt.

Je nach Prozessablauf kann darauf aufbauend ein Vorvulkanisieren sowie ein Beschichten mit einer Klebeschicht erfolgen. Der Beschichtungsvorgang kann abhängig von Prozessanforderungen lösemittelrelevant sein.

## Herstellung der Laufflächen, Seitenteile sowie anderer Bauteile

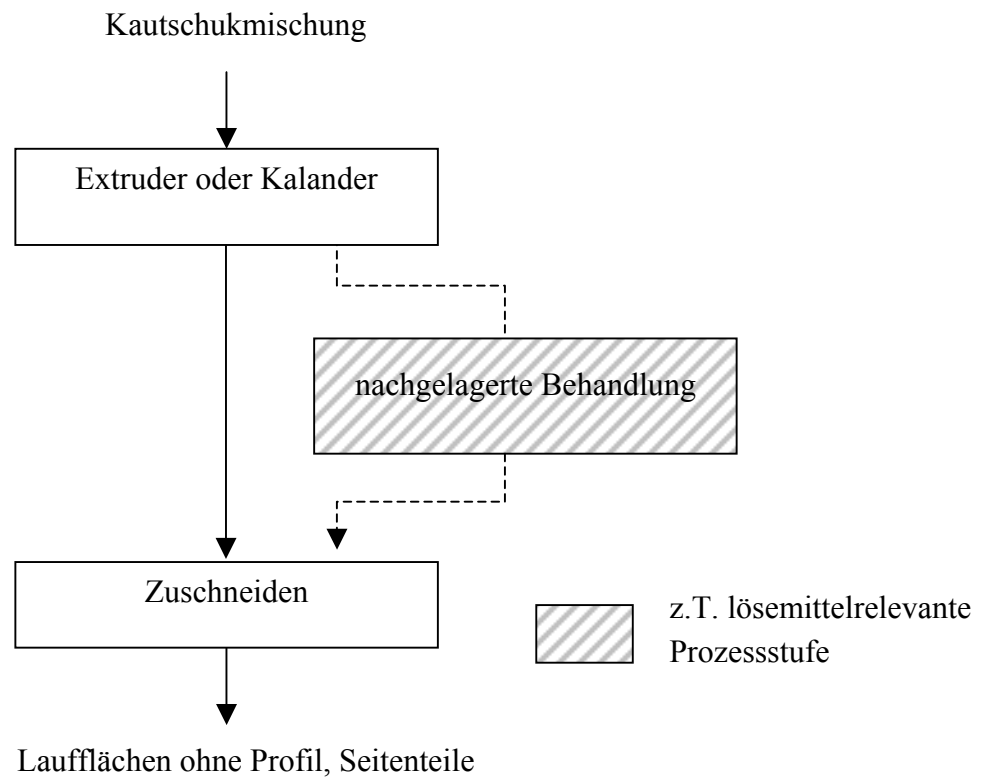


Abbildung 4-7 Herstellungsprozess der Laufflächen und Seitenteile

Zur Herstellung der Laufflächen und Seitenteile werden besonders zähe Mischungen aus Synthesekautschuk verwendet. Diese Mischung wird in einem Extruder oder einem Kalandrier zu Laufflächen und Seitenteilen verarbeitet.

Abhängig von den Prozessanforderungen kann nach der Extrusion eine nachgeschaltete Behandlung mit Lösemitteln erforderlich sein.

Die noch profillosen Laufflächen sowie die Seitenteile werden anschließend auf die erforderliche Länge zugeschnitten.

## Fertigstellung des Reifens

Die in den oben beschriebenen Verfahrensschritten hergestellten Bestandteile des Reifens (Karkasse, Wulstringe, Stahlgürtel, Seitenteile) werden in der sogenannten Reifenaufbaumaschine zu Reifenrohlingen zusammengefügt.

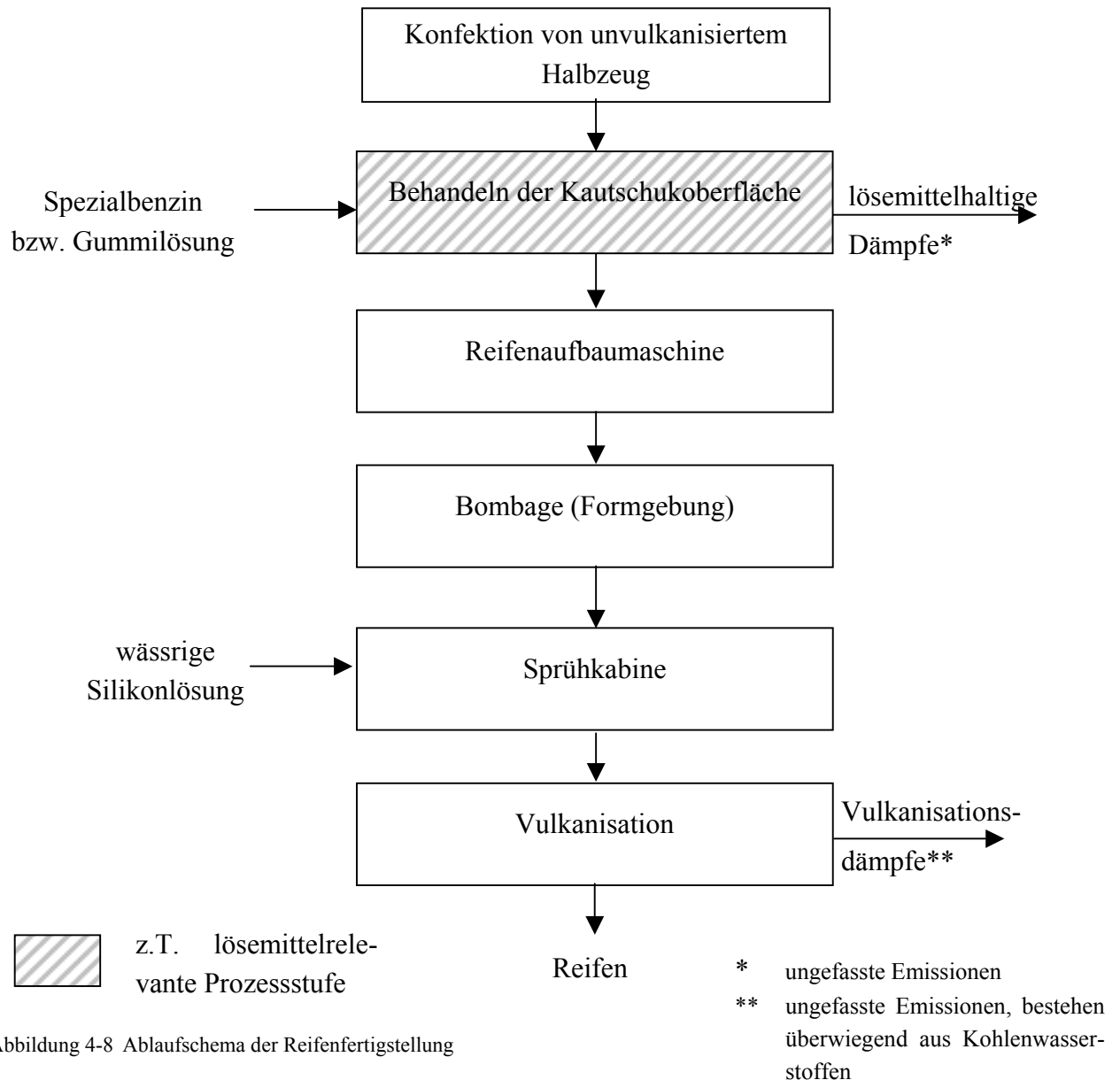


Abbildung 4-8 Ablaufschema der Reifenfertigung

Da eine zeitgleiche Herstellung der einzelnen Reifenkomponenten meist nicht möglich ist, werden teilweise unmittelbar vor dem Zusammenfügen der einzelnen Komponenten die Kautschukoberflächen mit Spezialbenzin oder einer Gummilösung angelöst, um so eine sichere Verbindung beim Vulkanisieren zu erreichen. Die organischen Lösemittel werden dabei als diffuse Emissionen an die Umgebung abgegeben.

In der Reifenaufbaumaschine werden die Teile rund um einen aufblasbaren, aber noch luftlosen Gummibalg aufgebaut. Im anschließenden Verfahrensschritt, der sogenannten Bombage, wird der Gummibalg, auf dem der Reifenrohling aufgebaut wurde, mittels Druckluft aufgepumpt. Dadurch wölbt sich die Karkasse bis sie von dem zuvor nur lose aufliegenden Stahlgürtel straff umspannt wird. Anschließend wird auf der nun geformten Karkasse die Lauffläche aufgelegt.

Nach der Bombage werden die Reifenrohlinge in einer automatischen Heizpresse vulkanisiert und erhalten dabei ihre endgültige Festigkeit, Form und ihr Profil. In der Heizpresse wird eine mit Dampf beheizte Membran von innen gegen den Reifen gedrückt. Durch den Druck erhält der noch plastische Rohling seine endgültige Form einschließlich Profil. Bei einer Temperatur von rund 180°C reagieren die langkettigen Kautschukmoleküle mit dem Vulkanisationsmittel (meist Schwefel) mit dem Ergebnis, dass sich die verschiedenen Bauteile des Reifens unlösbar miteinander verbinden. Bei der Vulkanisation entstehen Vulkanisationsdämpfe (Gummidämpfe), die als ungefasste Emissionen entweichen.

Um ein Verkleben der Membran des Gummibalgs mit dem Reifen zu verhindern und eine sichere, rückstandsfreie Entnahme des fertigen Reifens aus der Form zu ermöglichen, können die Reifenrohlinge vor dem Vulkanisieren in einer Sprühkabine mit einer wässrigen Silikonlösung besprüht werden.

Abschließend durchlaufen die Reifen noch die Qualitätskontrolle inklusive Röntgenprüfung.

### Nachbehandlung

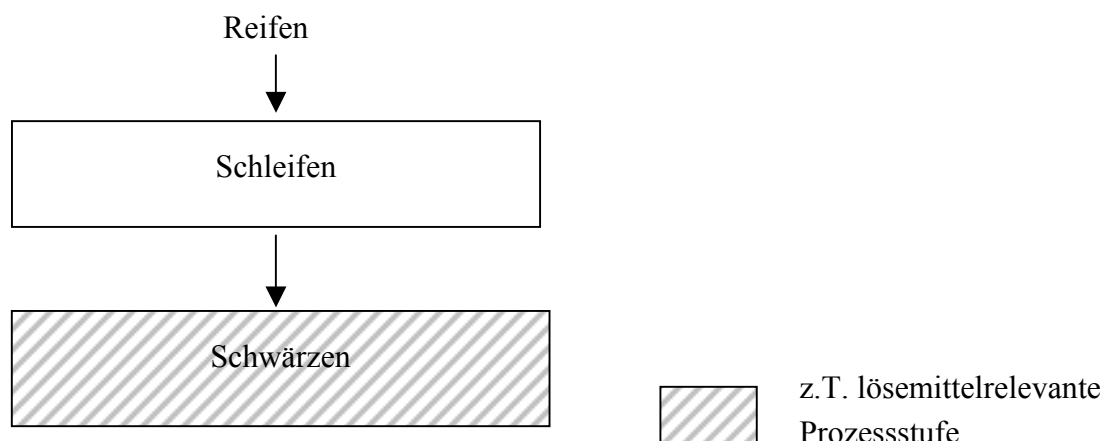


Abbildung 4-9 Nachbehandlung der Reifen

Fallweise kann eine Nachbehandlung der Reifen notwendig werden, um die geforderten Produkteigenschaften zu erreichen. Dabei können Schleifvorgänge (Herstellen der erforderlichen Rundheit) erforderlich sein. Im Anschluss an die Schleifvorgänge ist ein Schwärzen erforderlich, dabei können Lösemittel zum Einsatz kommen.



#### **4.2.3. Lösemittelrelevanz**

Organische Lösemittel werden bei der Reifenneuproduktion in verschiedenen Prozessstufen eingesetzt. Wichtig ist Spezialbenzin (Siedepunkt zwischen 80 –160°C), das entweder in Reinform oder als Bestandteil einer Gummilösung angewendet werden kann.

#### **4.2.4. Anlagenkomponenten und erforderliche Anlagendifferenzierung**

Die beschriebenen Prozesse werden üblicherweise in verschiedenen Betriebsabschnitten mit folgenden Komponenten realisiert, wobei je nach Produktionskonzept einzelne Komponenten auch auf externen Maschinen gefertigt werden.

##### **Rohstofflager**

Typischerweise werden die einzelnen Rohstoffe in verschiedenen Lagern oder einem Zentrallager mit verschiedenen Bereichen vorgehalten und bereitgestellt. Im Einzelnen sind dies beispielsweise das Kautschuk-, das Chemikalien-, das Schwefel- und das Benzin- bzw. Lösemittelager, das Weichmacherlager sowie die Ruß-Silo-Anlage [Lit. 6].

##### **Rohstoffverarbeitung, Herstellung der Kautschukmischung**

Folgende wichtige Anlagenkomponenten kommen zum Einsatz:

- Wiegeeinrichtungen
- Innenmischer (Knetter)
- Extruder/Kalander

##### **Herstellung Textilcord und Stahlcord**

Folgende wichtige Anlagenkomponenten kommen zum Einsatz:

- Imprägniereinrichtungen
- Verdrilleinrichtungen
- Kalander
- Schneidemaschinen

## **Herstellung der Wulstringe, Laufflächen und Seitenteile, Fertigstellung des Reifens, Nachbehandlung**

Folgende wichtige Anlagenkomponenten kommen zum Einsatz:

- Extruder/Kalander
- Beschichtungsmaschine
- Heizpresse zur Vulkanisation
- Sprüheinrichtungen
- Schneidemaschinen
- Wickelmaschinen
- Reifenaufbaumaschine
- Schleifmaschine

### 4.3. Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte

Die im folgenden beschriebene Anlage produziert PKW- und LKW-Reifen sowie Halbzeuge und Vorprodukte zur Reifenherstellung. Als Bezugsgröße wurden 10.000 t PKW Reifen pro Jahr angesetzt, die Kapazität der Anlage beträgt in der Praxis ca. 50.000 t/a PKW-Reifen.

#### Gesamtbilanz der Anlage

Input		Output	
Rohstoffe			
Kunst- u. Naturkautschuk	6.970 t/a	PKW-Reifen	10.000 t/a
Füllstoffe u. Chemikalien	5.467 t/a	Nutzfahrzeugreifen	2.374 t/a
Stahlcord	1.342 t/a	Halbzeuge für andere Werke	2.303 t/a
Stahl und Textilien	1.738 t/a	Kautschukmischungen	1.718 t/a
Kautschukmischungen	2.293 t/a	Reifenerneuerungsmaterial	388 t/a
Folien	208 t/a	Folien	125 t/a
		Gummitteile	83 t/a
		Reifenabdichtmittel (IMS)	20 t/a
		Abfälle	1.254 t/a
		Sonderabfälle	71 t/a
Lösemittel			
Technisches Benzin und Lösungen	40 t/a	Emissionen	36 t/a
Hilfsstoffe			
Verpackungsmaterial	265 t/a		
Wasser	45.573 m³/a	Abwasser und Abdampf	45.573 m³/a
Energie			
	54.840 MWh/a		

Tabelle 4-2 Gesamtbilanz der Anlage - Reifenherstellung

Die Differenz von 49 t, um die der Output größer ist als der Input, erklärt sich durch Lagerbestandänderungen bei Halbzeugen und Kautschukmischungen.

## wichtige Abfallmengen und Verwertungswege

Abfallart	Menge [t/a]	Verwertung/Beseitigung
Reifen	427	Stoffliche Verwertung; Zusatzstoff/Energieträger in der Zementindustrie
Schrott	249	Zuschlagstoff in Metallgießereien
Gummi- und Textilabfälle	250	stoffliche Verwertung
Stahlcord	207	Zusatzstoff/Energieträger in der Zementindustrie
Folien	125	Kunststoffrecycling
Sonderabfallart	Menge [t/a]	Verwertung/Beseitigung
Emulsionen	18,7	Trennung und stoffliche Verwertung / thermische Behandlung
Altöl	18,2	Altölaufbereitung
chem.-behaftete Verpackungen	13,8	Verwertung über REPA, RIGK / thermische Behandlung
Ölverschmutzte Betriebsmittel	2,1	stoffliche / thermische Verwertung nach Behandlung
Sonstige	1,3	stoffliche Verwertung / thermische Behandlung

Tabelle 4-3 Abfälle und Verwertungswege der Anlage - Reifenherstellung

## wichtige Emissionen aus dem Produktionsprozess

Emissionen	Fracht [kg/a]	Konzentration [mg/m <sup>3</sup> ] <sup>3</sup>
Lösungsmittel (VOC)	20.679	56 – 1.315
Gummidämpfe <sup>4</sup>	14.530	0,9 - 24
Staub	648	0,5 - 34
N-Nitrosamine	0,26	max. 0,0007

Tabelle 4-4 wichtige Emissionen der Anlage - Reifenherstellung

Bemerkungen: Der Wert für die Energie zeigt eine deutliche Abhängigkeit vom hergestellten Produktspektrum. Dies ist bei Übertragung der Werte auf Anlagen mit anderen Produktzusammensetzungen zu berücksichtigen.

<sup>3</sup> Halbstundenmittelwerte

<sup>4</sup> ohne Lösungsmittel, bestehen überwiegend aus Kohlenwasserstoffen

Die folgende Bilanz wurde aus einer Umfrage des Wirtschaftsverbands der deutschen Kautschukindustrie e.V. zur Verfügung gestellt, in der auf höher aggregierter Ebene die Input-Outputwerte von 9 deutschen Reifenwerken enthalten sind. Diese Daten repräsentieren rund 2/3 der deutsche Reifenproduktion:

Input		Output	
Roh- und Hilfsstoffe		Produkte	
Roh- und Hilfsstoffe <sup>5</sup>	847.111 t	Pkw + Lkw Reifen	354.611 t
Wasser (Trink- und Brauchwasser)	3.491.656 m <sup>3</sup>	Lkw Reifen	92.514 t
		Runderneuerungen	40.503 t
		Co-Produkte <sup>6</sup>	266.638 t
Energie		Emissionen	
Strom	535.825 MWh	Abgase <sup>7</sup>	1.996 t
Heizöl (leicht + schwer)	8.223 MWh	Staub <sup>8</sup>	31 t
Erdgas	875.333 MWh	Abwasser <sup>9</sup> + Abdampf <sup>10</sup>	3.491.656 m <sup>3</sup>
		Abfälle <sup>11</sup>	31.673 t

Tabelle 4-5 Input-Output-Situation der deutschen Reifenindustrie 2000

Differenz zwischen Materialeinsatz und Outputmasse hat ihre Ursache in Lagerbestandsveränderungen. Bei der Datenerhebung wurde jeweils ein vollständiges Werk mit allen vor- und nachgelagerten Einrichtungen betrachtet. Somit war sowohl das Rohstofflager als auch das Fertigwarenlager Gegenstand der Betrachtung.

<sup>5</sup> umfasst z.B. auch Lösemittel, Trennmittel, Mitläuferfolien, jedoch keine Betriebsstoffe wie z.B. Hydrauliköle

<sup>6</sup> z.B. Fehlmischungen (Verkäufe), Halbzeuge, Mischungsherstellung für andere Werke, für Dritte

<sup>7</sup> organische Stoffe aus Mischungsherstellung, Vulkanisationsprozessen (auch von Walzen, Extrudern etc) und Lösemittleinsatz (Ethanol aus silicathaltigen Mischungen einbeziehen)

<sup>8</sup> nur aus dem Herstellungsprozess (Mischerei, Sprühauftrag, Abrauen [Runderneuerung])

<sup>9</sup> Direkt- und Indirekteinleitung

<sup>10</sup> als Kondensat

<sup>11</sup> produktionsbedingte Abfälle, z.B. Ausschuss, Corde, Heizmembranen, Chemikalienreste, Emulsionen aus dem Prozess, Mitläuferfolien (keine Verpackungen)

#### **4.4. Ermittlung der BVT-Kandidaten**

Folgende Techniken bzw. Maßnahmen kommen als BVT-Kandidaten in Frage:

##### **4.4.1. Luftemission**

- Das Befüllen und Entleeren von Silos (z.B. für Ruß) erfolgt über gekapselte Fördereinrichtungen, wobei die Abluft (Verdrängungsluft) über Filter gereinigt wird.
- Für die Staubentwicklung beim Verwiegen und Einfüllen sind Abluftabsaugung und Filteranlagen installiert.
- Die Filterstäube werden dem Produktionsprozess als Zuschlagstoff wieder zugeführt.
- Für die bei der Produktion entstehenden Vulkanisationsdämpfe ist eine ausreichend dimensionierte Absauganlage eingerichtet.
- Substitution von organischen Lösemitteln durch wässrige Lösungen bei verschiedenen Prozessschritten, eine nähere Differenzierung ist aus Diskretionsgründen bei den Reifenherstellern nicht möglich
- Einsatz von Vulkanisationssystemen, bei deren Verwendung die Nitrosamin-Grenzwerte von  $1,5 \text{ mg/m}^3$  sicher unterschritten werden

Gegenwärtig werden in Deutschland Abgasreinigungsanlagen nicht in einem Ausmaß eingesetzt, wie es von der Lösemittelverordnung für Neuanlagen vorgesehen ist. Die Lösemittelemissionen betreffen sowohl ungefasste als auch gefasste, aber nicht über eine Abgasreinigungsanlage geführte Emissionen.

Die Branche plant, die entsprechenden gesetzlichen Anforderungen über das Aufstellen von Reduzierungsplänen zu gewährleisten.

##### **4.4.2. Wasseremission**

In der Reifenproduktion wird Wasser lediglich für Kühlzwecke eingesetzt. Es entstehen keine belasteten Industrieabwässer.

#### **4.4.3. Abfall**

Die Prozesse können so geführt werden, dass eine ökologisch unbedenkliche Verwertung der folgenden Abfallarten möglich ist:

- (Ausschuss-)Reifen
- Schrott
- Gummi- und Textilabfälle
- Stahlcord
- Folien
- Emulsionen
- Altöl
- chemisch-behaftete Verpackungen
- Ölverschmutzte Betriebsmittel

#### **4.4.4. Energie**

- Einsatz geschlossener Kältemittelkreisläufe
- Einsatz von Abwärmenutzungssystemen in der Vulkanisation

#### **4.4.5. Risiko**

- Lagerung aufgeteilt nach Gefährdungsklassen der einzelnen Stoffe
- Ausreichend dimensionierte Löschwasserrückhaltekapazitäten
- Alle Einrichtungen zum Lagern, Abfüllen oder Umschlagen wassergefährdender Stoffe und deren Abfüllplätze sind mit Schutzmaßnahmen wie flüssigkeitsdichter Boden, Auffangwannen und -räumen, Barrieren und doppelwandigen Behältern ausgestattet.
- Für die Lagerung von Weichmachern sind Leckageüberwachungseinrichtungen Standard.
- Ausreichende Brandschutzeinrichtungen (z.B. Sprinkleranlagen)
- Die Lagerung von Gummilösungen erfordert Explosionsschutz zur Minimierung des Brandrisikos.

#### 4.5. Auswahl und Empfehlungen bezüglich bester verfügbarer

##### Techniken

Eine überschlägige Bewertung der BVT-Kandidaten liefert folgendes Bild, bei dem ↓ eine sinkende und ↑ eine steigende Umweltbelastung bedeutet. Zahlen in der Klammer (1) bei der Kosten/Nutzen Relation bedeutet eine Differenzierungsnotwendigkeit mit nachfolgendem Kommentar, "ok" bedeutet, dass die Technik gemäß IVU Richtlinie als verfügbar angesehen werden kann.

Techniken	L	A	W	E	R	Lärm	Risiko	Kosten/ Nutzen Relation
gekapselte Fördereinrichtungen für Silos mit Filter zur Reinigung der Abluft	↓							ok
Staubfilteranlage und Staubbückführung	↓	↑			↓			ok
Absauganlage für Vulkanisationsdämpfe	↓							ok
Substitution von org. Lösemitteln durch wässrige Lösungen	↓							(1)
Abgasreinigungsanlage zur Verringerung der Emissionen von Vulkanisationsdämpfen und Lösemitteln	↓							(2)
Einsatz von Vulkanisationssystemen, bei deren Verwendung die Nitrosamin-Grenzwerte unterschritten werden	↓							ok
geschlossene Kühlmittelkreisläufe			↓	↓				ok
Abwärmeverwertungssysteme				↓				ok



Techniken	L	A	W	E	R	Lärm	Risiko	Kosten/ Nutzen Relation
Lagereinteilung nach Gefähr- dungsklassen							↓	ok
ausreichende Löschwasser- rückhaltekapazitäten							↓	ok
ausreichende Brandschutzein- richtungen, Explosionsschutz für die Lagerung von Gummi- lösungen							↓	ok
Auffangwannen und Lecka- geüberwachung für die Lage- rung von Weichmachern							↓	ok

A = Abfall; W = Wasser; L = Luft; E = Energie; R = Ressourcen

Tabelle 4-6 Überschlägige Bewertung der BVT-Kandidaten - Reifenherstellung

- (1) Einzellösungen sind im industriellen Maßstab verfügbar, Gesamtaussage gegenwärtig nicht möglich
- (2) Abgasreinigungsanlagen werden in der Branche gegenwärtig nicht standardmäßig betrieben

Daraus ergibt sich, dass mit Ausnahme der "Substitution von organischen Lösemitteln durch wässrige Lösungen" und "Abgasreinigungsanlage" sämtliche BVT-Kandidaten auch als BVT ausgewählt werden können. Für die Substitution organischer Lösemittel durch wässrige Lösungen zeigt sich, dass dies in Deutschland gegenwärtig nicht vollständig möglich ist. Ein Einsatz von Abgasreinigungsanlagen als BVT kann gefordert werden, wenn derartige Anlagen in Europa installiert sein sollten. In deutschen Werken sind nach gegenwärtigem Kenntnisstand keine geeigneten Abgasreinigungsanlagen in Betrieb.

#### **4.6. Neue fortschrittliche Verfahren**

Hierzu sind aus der Reifenindustrie keine Angaben verfügbar. Es ist davon auszugehen, dass die Substitution von organischen Lösemitteln intensiv weiterbetrieben wird (Reduzierungspläne zur Erfüllung der Anforderungen der Lösemittelverordnung). Präzise Einzelangaben werden jedoch aus Wettbewerbsgründen nicht weitergegeben.

## Sollvorgaben aus Regelwerken

"Jede Tätigkeit des Mischens, Zerkleinerns, Kalandrierens, Extrudierens und Vulkanisierens natürlichen oder synthetischen Kautschuks und Hilfsverfahren zur Umwandlung von natürlichem oder synthetischem Kautschuk in ein Endprodukt." (Anhang II 31. BImSchV) fallen unter dem Oberbegriff "Umwandlung von Kautschuk" unter die relevanten Tätigkeiten gemäß Anhang II der 31. BImSchV.

Für das Umwandeln von Kautschuk sind in Anhang I und III unter Punkt 17 folgende Schwellenwerte und Emissionsgrenzwerte vorgesehen:

<b>Tätigkeit</b>	<b>Emissionsgrenzwert für gefasste Abgase [mg C/Nm<sup>3</sup>]</b>	<b>Grenzwert für diffuse Emissionen</b>	<b>Gesamtemissionsgrenzwert<sup>3)</sup></b>
Umwandlung von Kautschuk  (Schwellenwert für den Lösemittelverbrauch in 10 t/a)	20  75 <sup>1)</sup>	25% <sup>2)</sup>	25% des eingesetzten Lösemittels

1) gilt für Anlagen mit Wiederverwendung zurückgewonnener organischer Lösemittel

2) organische Lösemittel, die als Teil von Erzeugnissen oder Zubereitungen in geschlossenen Behältern verkauft werden, zählen nicht zu den diffusen Emissionen

3) Der Grenzwert für die Gesamtemissionen gilt alternativ zum Emissionsgrenzwert für gefasste Abgase und dem Grenzwert für diffuse Emissionen bei genehmigungsbedürftigen Anlagen jedoch mit der Maßgabe, dass bei der Anwendung des Grenzwertes für die Gesamtemission der Emissionsgrenzwert bei gefassten behandelten Abgasen einzuhalten ist.

Tabelle 4-7 Schwellenwerte und Emissionsgrenzwerte gemäß 31. BImSchV



## 5. Produktion von Lackdrähten

### 5.1. Allgemeine Informationen

Abhängig von ihrer Größe werden in Anlagen zur Beschichtung (Lackierung) von Drähten organische Lösemittel in IVU-relevanten Mengen eingesetzt.

#### Einsatzbereiche

"Lackdraht" oder "Kupferlackdraht" (lackisolierter Kupferdraht) wird hauptsächlich für die Wicklung von Spulen eingesetzt. Die Anwendungsgebiete von Lackdraht reichen von der Miniaturwickeltechnik in der Medizintechnik (Hörgeräte, Herzschrittmacher, etc.), über die Unterhaltungsindustrie (Tonköpfe, Mikrophone, etc.), Uhren, Relais und Überträger, Kleinmotoren-, Transformatoren- und Messgerätebau bis zu Verteil- und Leistungstransformatoren sowie elektrischen Maschinen. Kupferlackdraht ist für die moderne Industrie, unter anderem auch in der Umwelttechnik (Windkraftwerke, energieeffiziente Motoren und Transformatoren) unverzichtbar und zukunftssträftig.

#### Produktions- und Absatzzahlen

Die Produktion von lackisolierten Drähten lag im Jahr 1999 bei 82.506 t<sup>12</sup> in Deutschland, die Produktion konzentriert sich auf 8 Hersteller. Der gewichtsmäßige Anteil an lackisolierten Drähten an der gesamten Kabelproduktion in Deutschland beträgt damit ca. 11%.

Der deutsche Anteil an der Weltproduktion von Wickeldraht beträgt etwa 5%.

Die folgende Abbildung zeigt die Entwicklung von Produktion und verbrauchter Lösemittelmenge von 1990 bis 1999.

	Produktion [t]	Lösemittel [t]
1990	80.600	5.400
1993	76.500	5.100
1996	77.200	5.100
1999	82.500	5.200

Tabelle 5-1 Entwicklung von Produktion und Lösemittelmengen bei der Beschichtung von Kupferlackdraht

---

<sup>12</sup> Quelle: Statistisches Bundesamt

Für die Interpretation der Daten sind folgende ergänzende Informationen erforderlich:

- Der Anteil an Gleitmitteln, die keine organischen Lösemittel enthalten, wurde von 0% (1990) auf ca. 20% (1999) gesteigert.
- Die verbrauchte Lösemittelmenge wurde durch den Einsatz von Lacken mit einem höheren Festkörperanteil gesenkt.
- Produktseitig wurden mehr Lackdrähte Grad 2 hergestellt, die aufgrund ihrer höheren Lackdicke (ca. 50%) mehr Lack und damit mehr Lösemittel verbrauchen.
- Der Anteil dünner Drähte, die mehr Lösemittel zur Lackierung benötigen, hat zugenommen.

Verbrauchsmindernde Maßnahmen wurden somit durch nachfragebedingte Änderungen des Produktspektrums teilweise kompensiert.

Zur Veranschaulichung der Bedeutung der Drahtlackierung sind im folgenden Diagramm die gewichtsmäßigen Anteile der Kabel- und Leitungsarten auf dem deutschen Markt im Jahr 1999 graphisch dargestellt<sup>13</sup>.

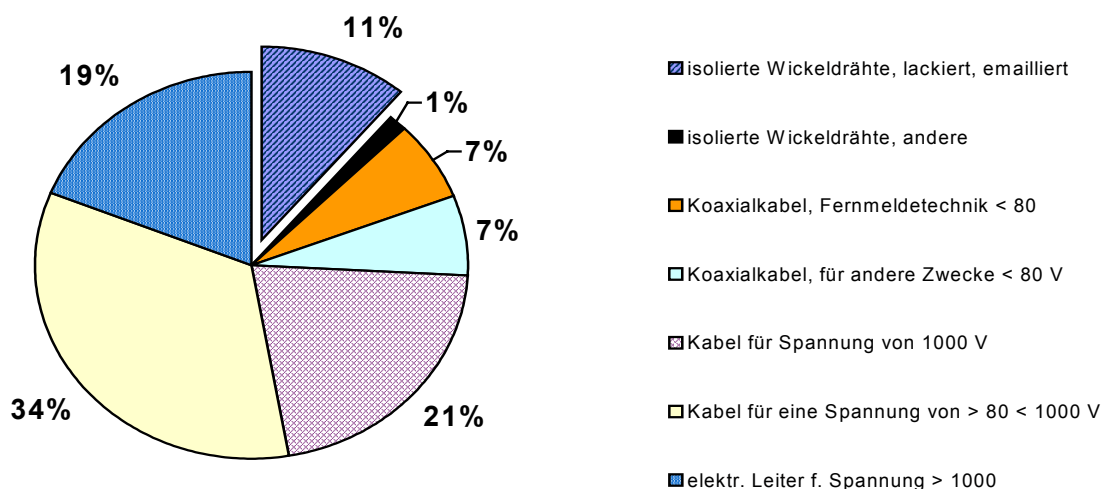


Abbildung 5-1 Gewichtsmäßige Anteile der Kabelsorten am deutschen Markt, 1999, Quelle: Statistisches Bundesamt

<sup>13</sup> Daten aus: Statistisches Bundesamt, Fachserie 4, Reihe 3.1, 1999

## **Charakterisierung des Produkts "Kupferlackdraht" und Qualitätsanforderungen**

Neben flachen lackierten Kupferdrähten (Dicke 0,8 – 5 mm, Breite 2,0 – 25 mm) gibt es die große Palette der runden lackierten Kupferdrähte von 0,01 – 6,0 mm (vorwiegend 0,3 – 0,65 mm) Durchmesser.

Der gewichtsmäßige Anteil der Feindrähte ( $< 0,1$  mm) beträgt ca. 3,5 % der insgesamt gefertigten Menge lackisolierter Drähte.

Die Zuordnung der Isoliermaterialien erfolgt in den Technischen Lieferbedingungen Normenreihe DIN EN 60317 (entsprechend IEC 60317) in den Teilen 1 bis 54, die Prüfverfahren sind in der Reihe DIN EN 60851 festgelegt, die Verpackung der lackierten Wickeldrähte in der Reihe DIN EN 60264.

Eine hohe Temperaturbeständigkeit von Drahtlacken ist eine wichtige Voraussetzung für eine material- und platzsparende Bauweise. Die thermische Beständigkeit der Isoliermaterialien wird durch einen Temperaturindex angegeben. Die speziellen Anforderungen an Elektroisoliersysteme sind mechanische Härte, Wärme-, Chemikalien- und Kriechstrombeständigkeit (Porenfreiheit), sowie eine hohe Spannungs- und Durchschlagfestigkeit. Moderne Elektroisoliersysteme erfüllen diese Anforderungen schon bei geringen Schichtdicken (siehe o.g. Normen).

## 5.2. Angewandte Verfahren und Techniken

### 5.2.1. Übersicht über den Herstellungsprozess

Die Herstellung von Lackdraht ist ein linearer Prozess, der folgendem generellem Schema folgt:

Herstellungsprozess	Lösemiteileinsatz
Gewinnen des metallischen Leiters	nein
Reinigen	nein
Lackieren bzw. Beschichten	ja
Einbrennen	nein
Aufbringen von Gleitmitteln	je nach Verfahren

Tabelle 5-2 Schematische Darstellung des Herstellungsprozesses von Lackdraht

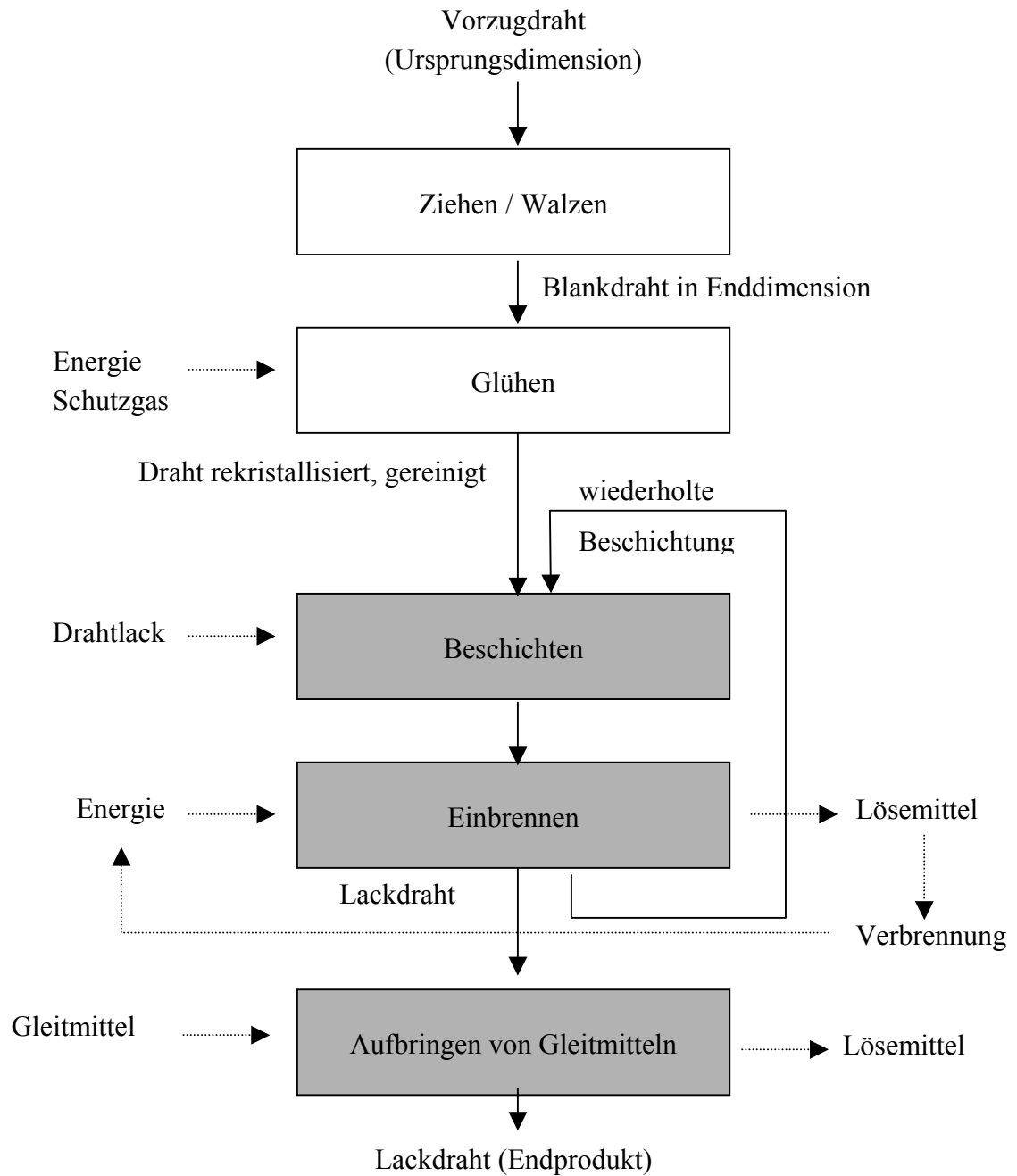
Grundsätzlich unterschiedliche Prozesse sind bei der Herstellung des metallischen Leiters möglich, da dieser durch Walzen oder durch Ziehen gewonnen werden kann. Diese Varianten spielen jedoch für den Lösemiteileinsatz keine Rolle.

Beim Lackieren bzw. Beschichten werden isolierende, schützende und/oder dekorative Schichten auf Metalleindrähte aufgetragen.



### 5.2.2. Prozessstufen und Verfahrensfliessbilder

Die nachfolgende Abbildung stellt die Prozessstufen des Gesamtprozesses dar.



 ggf. lösemittelrelevante Prozessstufe

Abbildung 5-2 Herstellungsprozess Lackdraht

Walzen und Ziehen sind Umformprozesse, bei denen aus metallischen Werkstoffen u.a. Drähte hergestellt werden. Das Walzen wird durch stetiges oder schrittweises Druckumformen vollzogen. Der Werkstoff kann kalt oder warm gewalzt werden. In der Lackdrahtherstellung wird der Draht in aller Regel gezogen. Beim Ziehen wird der Vorzugdraht in seiner ursprünglichen Dimension durch eine sich in Ziehrichtung verengende Werkzeugöffnung (Matrize) gezogen. Das Fließen (die Verformung) des Werkstoffs wird durch ein Zusammenwirken von Zug- und Druckbeanspruchung erreicht.

Nach dem Ziehen durchläuft der Draht zur Rekristallisation des Kupfers und zur Reinigung seiner Oberfläche eine Glühe. Dabei wird eine Oxidation des Drahtes durch Schutzgas verhindert.

Schließlich wird der Draht mit Filzen oder Düsen mit Lack beschichtet und in einem vertikal oder horizontal angeordneten Ofen getrocknet und eingebrannt. Das Temperaturspektrum liegt zwischen 400 – 750°C. Über Umlenkrollen gelangt der einmal beschichtete Draht außerhalb des Ofens zur Lackauftragsvorrichtung zurück und wird so in mehreren (bis zu 30) Schichten auf die erforderliche Isolierwanddicke gebracht.

Moderne Öfen sind mit einem Umluftkreislauf ausgestattet, der mit oder entgegen der Drahtlaufrichtung geführt wird und die beim Einbrennen freigesetzten Lösemittel aufnimmt. Unter Zumischung von geringen Mengen an Frischluft werden diese thermisch oder katalytisch verbrannt. Durch diesen weitgehend geschlossenen Kreislauf werden die Abgasvolumina gering gehalten und die organischen Verbindungen im Reingasstrom liegen deutlich unterhalb einer Konzentration von 20 mg/m<sup>3</sup> Gesamtkohlenstoff. Die aus der Verbrennung resultierende Energie kann dem Trocknungsprozess zugeführt und zur Aufheizung der Umluft genutzt werden.

In der Feinstdrahtfertigung für die kleinsten Drahtabmessungen werden reine Strahlungsöfen, im oberen Feindrahtbereich kombinierte Strahlungs-Umluftöfen eingesetzt (Umluft + thermische Strahlung über elektrisch beheizte Gussplatten). Die organischen Lösemittel werden analog in dem weitgehend geschlossenen Kreislauf geführt, katalytisch verbrannt und die Energie zur Umluftheizung genutzt.

Je nach den Anforderungen an das Endprodukt wird im Anschluss an das Lackieren In-line vor dem Aufwickeln ein Gleitmittel auf den Draht aufgetragen, das ebenfalls lösemittelhaltig sein kann.

Es handelt sich klassischerweise um in Benzin gelöste Paraffine (Lösungen mit einem organischen Lösemittelgehalt von 98 bis 99,9%). Es kommen auch Konzentrate (Dispersionen mit einem organischen Lösemittelgehalt von 50 bis 95%), sowie lösemittelfreie Alternativen zum Einsatz. Im Hinblick auf die Eignung von lösemittelfreien Alternativen sind Kundenwünsche und Qualitätsanforderungen bezüglich der Konstanz und der Stärke des Gleitmittelfilms zu berücksichtigen. Generell gilt: Je höher die Kundenanforderungen und je dünner der Draht, desto weniger eignen sich die bisher bekannten lösemittelfreien Alternativen.

Zum Gleitmittelauftrag von Wachsen ohne Verwendung von Lösemitteln kommen gegenwärtig z.B. folgende Verfahren zum Einsatz: Beim "Wachsschmelze-Filz-Auftrag" wird aus einem Vorratsbehälter das geschmolzene Gleitmittel über einen Dosierstift auf einen Filz aufgetragen, der wiederum die Oberfläche des Lackdrahtes beschichtet. Beim "Gleitmittel-Garn-Verfahren" wird nach dem Einbrennen der letzten Lackschicht das Wachs aus einem mit dem Draht geführten Wachsfaden durch die Resthitze des Drahtes aufgeschmolzen und auf den Draht aufgebracht. Dazu wird der Wachsfaden zwei bis drei mal um den Draht geschlungen und in Transportrichtung, aber mit geringerer Geschwindigkeit mitgeführt. Zum Gleitmittelauftrag auf Feinstdrähte mit einem Durchmesser  $< 0,1$  mm sind diese Systeme zur Zeit noch nicht einsatzfähig.

### **5.2.3. Lösemittelrelevanz**

Lösemittel werden in relevantem Umfang bei der Drahtlackierung und gegebenenfalls beim Aufbringen von Gleitmitteln eingesetzt. Bei jedem Trocknungsvorgang wird das Lösemittel aus dem Lacksystem ausgetrieben, die lösemittelhaltige Abluft wird verbrannt (siehe oben).

Lösemittel aus gegebenenfalls aufgetragenen lösemittelhaltigen Gleitmitteln emittieren zum großen Teil direkt im Anschluss an den Lackierprozess. Die lösemittelhaltige Abluft entweicht ungereinigt in den Hallenbereich und wird im Zusammenhang mit Raumluftansaugung der Einbrennöfen teilweise in den katalytischen oder thermischen Reinigungsprozess der Maschinen integriert. Im Feinstdrahtbereich muss aus Produktqualitätsgründen auf die Raumluftansaugung verzichtet werden.

Entsprechend den Anforderungen der Anwender werden die Kupferdrähte gemäß DIN EN 60317 Teil 1-54 mit unterschiedlichen Isoliermaterialien umhüllt (lackiert). Ein besonderes Merkmal ist deren gute Haftung auf Metallen.

Die Gliederung der Lackdrähte und der prozentuale Anteil an der Gesamtproduktion in Deutschland (Stand 1999) ist der folgenden Tabelle zu entnehmen:

Produkt	Isolierwerkstoff	Lieferanteil [in %]	mittlerer Lösemittelanteil [in %]
lötbare runde Drähte	z.B. Polyurethan	11	50 – 75
wärmebeständige runde Drähte	z.B. THEIC-Polyesterimid oder Polyamidimid (zum Teil * )	23	50 – 75
runde Overcoat- Drähte	z.B. THEIC-Polyester(imid) mit zusätzlicher Polyamidimid- Schicht (*)	49	50 – 75
sonstige runde Drähte	mit zusätzlicher Backlack- schicht aus aliphatischem oder aromatischem Polyamid (zum Teil * )	11	50 – 75
flache Drähte	je nach Temperaturklasse: z.B. Polyvinylacetal, THEIC- Polyesterimid	6	50 – 75
Gesamt		100	50 – 75

Tabelle 5-3 Produktionsanteil von Lackdrahtarten in Deutschland 1999

Die mit (\*) gekennzeichneten Isolierwerkstoffe enthalten als Lösemittel N-Methylpyrrolidon

Der Feststoffanteil von Drahtlacken bewegt sich zwischen 25 und 50 %. Die verbleibenden 50 bis 75% bestehen aus organischen Lösemitteln, die sich überwiegend aus Kresolen und aromatischen Kohlenwasserstoffen zusammensetzen. Der Lösemitteleinsatz beim Lackiervorgang hängt von Art und Menge des aufgetragenen Drahtlacks ab. Generell sind für sehr dünne Drähte (z.B. Feinstdraht von 30 µ) Lacke mit einem hohen Lösemittelanteil erforder-

lich (z.B. 75%). Über den Mitteldrahtbereich (Durchmesser 0,2 – 0,8 mm) bis hin zu dickeren Drähten kann der Lösemittelanteil reduziert werden (z.B. bis auf 50%). Aus Umweltgesichtspunkten wird heute versucht, Lacke mit möglichst hohem Feststoffanteil anzuwenden.

In Entwicklung sind als Alternative Schmelzharze (Hot Melts), High Solids, kresolfreie Lacke, Wasserlacke, elektrophoretisch abscheidbare Lacke, 2K-Technologie, Pulverlacke, strahlenhärtbare Lacke oder Extrusionsbeschichtung mit thermoplastischen Isolationsstoffen. Aus verschiedenen Gründen (z.B. Qualitätsanforderungen, Wirtschaftlichkeit, Verfahrenstechnik, Sicherheitstechnik) konnten sich diese Alternativen allerdings bisher nicht durchsetzen.

#### 5.2.4. Anlagenkomponenten und erforderliche Anlagendifferenzierung

Ein Übersichtsbild für den Aufbau einer Maschine zur Herstellung von Lackdraht ist aus der Abbildung 5-3 ersichtlich, die beschriebenen Prozesse werden typischerweise in Anlagen mit folgenden Komponenten realisiert:

Anlagenkomponenten	Stand der Anlagentechnik
<b>Ziehprozess</b>	
Ziehmaschine	Nassziehmaschinen mit Scheiben bzw. Konen, mit Schlupf arbeitend
Glühe	Elektrische Widerstandsglühe mit Dampf- /Schutzatmosphäre und Drahtkühlung /-trocknung mittels Ziehemulsion und Druckluft
Emulsionsreinigung	Papierfilter, Zyklonabscheider
Emulsionsaufbereitung	demineralisiertes Wasser
Blankdraht-Reinigung vor Einlauf in Glühe	Schwämme+ demineralisiertes Wasser mit Filterkreislauf, Papierfilter (trocken)
<b>Lackierprozess</b>	
Glühe	indirekt beheiztes Rohr oder Schachtglühe mit Schutzgasatmosphäre (Wasserdampf, inerte Gase)
Lackauftragungsvorrichtung	Lackbad mit Düsenabstreifung bei Lackkreislauf, dosierte Lackzufuhr mit Filzübertragung
Einbrennofen	Heißluft- Umluftsystem ohne / mit Strahlung unter Nutzung von Wärmegewinnung durch katalytische/thermische Lösemittelverbrennung
Drahtkühlung	mittels Raum- oder Außenluft
Abgasbehandlung	Oxydation der Lösemittel im Katalysator, thermische Verbrennung elektrisch oder in der Gasflamme

Anlagenkomponenten	Stand der Anlagentechnik
Gleitmittelauftrag	
Auftragstechnik	<p>Zuführung und Übertragung des Gleitwachses über Einsatz von Lösemitteln und Filzen. Für ausgewählte Anwendungen auch lösungsmittelfreier Auftrag mittels Fadentechnik oder Filzen möglich.</p> <p>Gleitmittel sind lösemittelhaltige Wachse, in begrenzter Anwendung auch lösemittelfreie Wachse und wässrige Dispersionen (zur Zeit aber noch Sonderfälle, nicht Stand der Anwendungspraxis).</p>
Abgasbehandlung	keine

Tabelle 5-4 Anlagenkomponenten - Lackdrahtproduktion

Eine Anlage besteht in der Regel aus mehreren Maschinen bzw. Fertigungslinien, auf denen unterschiedliche Drahtdurchmesser bzw. Produktqualitäten gefertigt werden können.

# Produktion von Lackdraht (Schema)

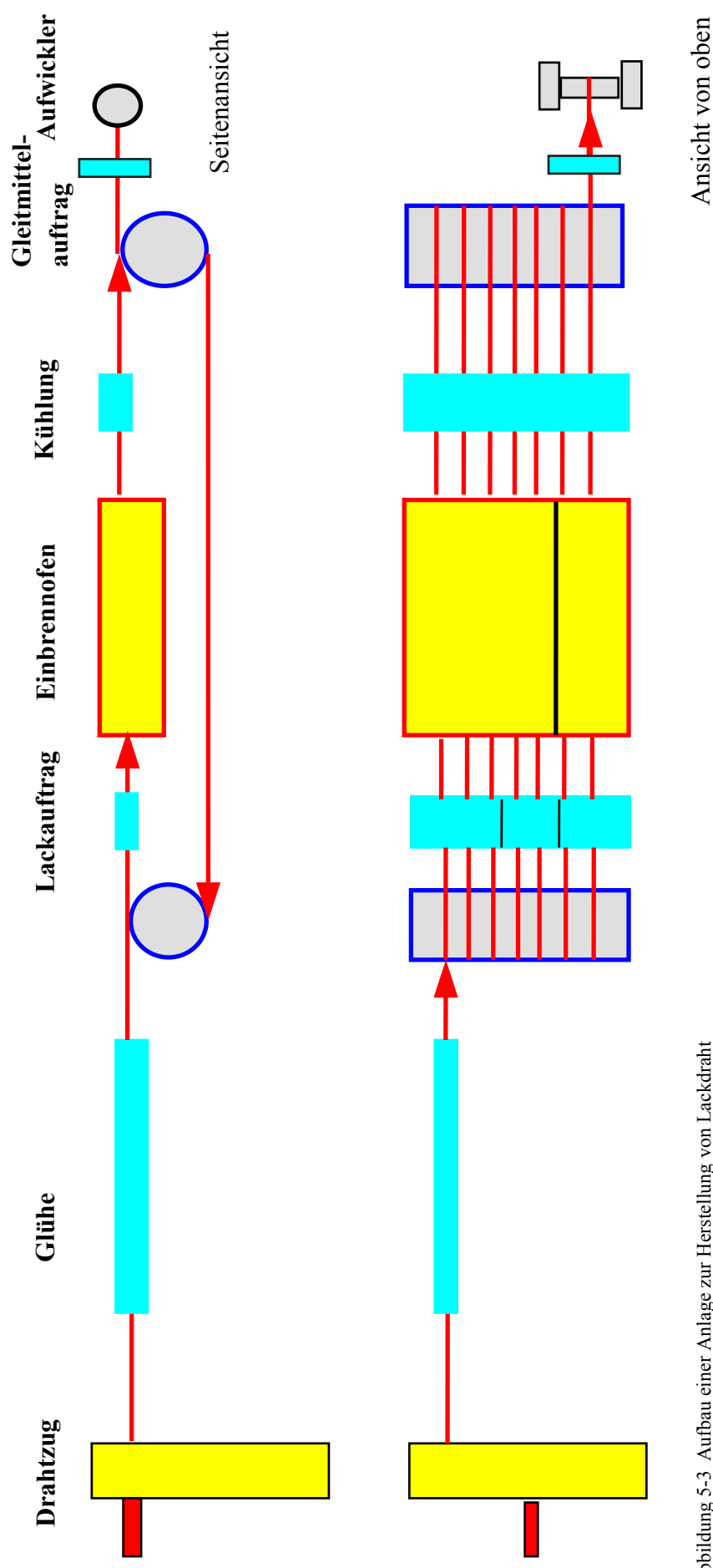


Abbildung 5-3 Aufbau einer Anlage zur Herstellung von Lackdraht



## **Erforderliche Anlagendifferenzierung**

Die große Variation der Drahtdurchmesser (0,01 – 6,0 mm) von Lackdrähten führt zu deutlich unterschiedlichen Relationen zwischen Produktmasse (t Draht) und Produkt-oberfläche (zu beschichtende m<sup>2</sup>). Diese technische Relation führt dazu, dass unterschiedliche Lacke und Technologien für Feindraht einerseits und Mittel- und Starkdraht andererseits eingesetzt werden müssen.

Für die Beschreibung von BVT-Kandidaten wird dem Rechnung getragen, indem zwei Anlagentypen unterschieden und jeweils separat bezüglich ihrer ökologischen Kennzahlen charakterisiert werden. Sie lassen sich durch ihre Kennwerte wie folgt beschreiben:

Anlage M: Mitteldraht, Durchmesserschwerpunkt 0,6 mm, 3-Schicht-Betrieb an 320 – 340 Tagen, typische Kapazität 90 t Draht pro Jahr und pro Linie

Anlage F: Feindraht, Durchmesserschwerpunkt 0,08 mm, 3-Schicht-Betrieb an 320 – 340 Tagen, typische Kapazität 30 t Draht pro Jahr und Linie

Wie bereits erwähnt setzt sich eine Anlage aus mehreren Maschinen zusammen. Diese haben bei bestehenden Anlagen in der Regel einen unterschiedlichen Technikstand, welcher die Gesamtemissionen der Anlage beeinflussen kann.

Wichtige Parameter sind in diesem Zusammenhang:

- die bei der einzelnen Maschine eingesetzte Technologie
- der bei der einzelnen Maschine gefertigte Durchmesser
- die bei der einzelnen Maschine gefertigte Qualität

Grundsätzlich gilt, dass dünnere Drähte höhere spezifische VOC-Emissionen (gerechnet in g Lösemittel pro kg Produkt) nach sich ziehen. Dies ist zum einen durch die Relation Produktmasse / Produktoberfläche und zum anderen durch den möglichen Festkörperanteil im Lack und Gleitmittel bedingt. Beide Effekte addieren sich, so dass z.B. ein Draht mit einem Durchmesser von 0,02 mm mehr als die vierfache spezifische Emission aufweist wie ein Draht mit einem Durchmesser von 0,1 mm.

Die aktuellen Verbrauchs- und Emissionswerte (vgl. Kap. 5.3) beziehen sich auf real existierende Anlagen, so dass unter anderem der unterschiedliche technologische Status der einzelnen Maschinen innerhalb der Anlage die Emissionen der Anlage prägt. Dieser Zusammenhang erklärt, warum alle wichtigen deutschen Anlagenbetreiber eine Einhaltung der Grenzwerte aus der VOC-Richtlinie bis 2007 sicherstellen können, obwohl diese Grenzwerte von den gegenwärtig betriebenen Anlagen nicht erreicht werden. Dabei ist festzuhalten, dass der größte Anteil der Lösemittlemissionen auf den Gleitmittelauftrag zurückzuführen ist.

### 5.3. Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte

#### Anlage M

(Mitteldraht; Durchmesserschwerpunkt 0,6 mm; typische Kapazität 90 Jato/Linie)

Die folgenden Angaben beziehen sich auf eine Anlage mit einem Drahtdurchmesser-schwerpunkt von 0,6 mm mit Lackisolierung gemäß Grad 2. Sie sind als Relativwerte pro 1000 kg Fertigprodukt angegeben. Abhängig von dem Technologiestatus der einzelnen Maschinen der Anlage treten Schwankungen bei einzelnen Werten auf. Eine Übertragung der Ergebnisse auf andere Durchmesserschwerpunkte hat die Zunahme von spezifischen Lösemittlemissionen bei dünneren Drähten zu berücksichtigen.

Input		Output	
Rohstoffe			
Cu-Draht (8 mm)	1070 kg	Produkt (Cu-Draht 0,6 mm)	970 kg
		Drahtschrott (blank und lackiert)	100 kg
Lack und Lösemittel			
Polymer im Lack	38 kg	Lack auf dem Produkt	30 kg
		Polymerverluste	8 kg
Lösemittel	71,5 kg	Lösemittel im Abfall	4,7 kg
		durch katalytische Oxidation umgewandelte Lösemittel <sup>1)</sup>	58,6 kg
		emittierte Lösemittel	8,2 kg
		NO <sub>x</sub> , CO CO <sub>2</sub>	<sup>2)</sup>
Hilfsstoffe			
Wasser	~ 1.000 kg	Wasser	~ 1.000 kg
Wachs	0,1 kg	Wachs auf Produkt	0,1 kg
Ziehmittel	0,3 kg	Ziehmittelabfall feucht	3,5 kg
Energie			
Energie	2,1 MWh <sup>3)</sup>		

1) Bei dieser Angabe handelt es sich nicht um eine Emissionsmenge, sondern um die Angabe des Anteils an Lösemittel-Input, der katalytisch oder thermisch unter Prozesswärmegewinnung verbrannt wird.

2) Zu diesen Emissionen liegen keine repräsentativen Werte für den Emissionsfaktor vor. Einzelmessungen haben gezeigt, dass Massenkonzentrationswerte von mehreren Tausend mg/m<sup>3</sup> erreicht werden. Die NO<sub>x</sub>- und CO-Werte sind stark durch den zunehmenden Eintrag von Stickstoffverbindungen aus den Lacksystemen (NMP) bestimmt.

3) Wert ist stark produkt- (Isoliersystem-)abhängig

Tabelle 5-5 Gesamtbilanz einer Anlage zur Mitteldrahtherstellung

## Anlage F

**(Feindraht; Durchmesserschwerpunkt 0,08 mm; typische Kapazität 30 Jato/Linie)**

Die folgenden Angaben beziehen sich auf eine Anlage mit einem typischen Durchmesserschwerpunkt von 0,08 mm. Sie sind als Relativwerte pro 1000 kg Fertigprodukt angegeben. Abhängig von dem Technologiestatus der einzelnen Maschinen der Anlage treten Schwankungen bei einzelnen Werten auf. Eine Übertragung der Ergebnisse auf andere Durchmesserschwerpunkte hat die Zunahme von spezifischen Lösemittlemissionen bei dünneren Drähten zu berücksichtigen

Input		Output	
Rohstoffe			
Cu-Draht (8 mm)	1100 kg	Produkt (Cu-Draht 0,080 mm)	962 kg
		Drahtschrott (blank und lackiert)	138 kg
Lack und Lösemittel			
Polymer im Lack	58 kg	Lack auf dem Produkt	38 kg
		Polymerverluste	20 kg
Lösemittel	186 kg	Lösemittel im Abfall	6 kg
		durch katalytische Oxidation umgewandelte Lösemittel <sup>1)</sup>	165 kg <sup>3)</sup>
		emittierte Lösemittel	15 kg
		NO <sub>x</sub> CO CO <sub>2</sub>	<sup>2)</sup>
Hilfsstoffe			
Wasser	~ 1.000 kg	Wasser	~ 1.000 kg
Wachs	0,1 kg	Wachs auf Produkt	0,1 kg
Ziehmittel	1,5 kg	Ziehmittelabfall feucht	6,5 kg
Energie			
Energie	4,5 MWh		

1) Bei dieser Angabe handelt es sich nicht um eine Emissionsmenge, sondern um die Angabe des Anteils an Lösemittel-Input, der katalytisch oder thermisch unter Prozesswärmegewinnung verbrannt wird.

2) Zu diesen Emissionen liegen keine repräsentativen Werte für den Emissionsfaktor vor. Einzelmessungen haben gezeigt, dass Massenkonzentrationswerte von mehreren Tausend mg/m<sup>3</sup> erreicht werden. Die NO<sub>x</sub>- und CO-Werte sind stark durch den zunehmenden Eintrag von Stickstoffverbindungen aus den Lacksystemen (NMP) bestimmt.

3) Lösemittelfracht zur Nachverbrennung.

Tabelle 5-6 Gesamtbilanz einer Anlage zur Feindrahtherstellung

## **5.4. Ermittlung der BVT-Kandidaten**

Folgende Techniken bzw. Maßnahmen kommen als BVT-Kandidaten in Frage:

### **5.4.1. Luftemission**

- Lackauftragungsvorrichtung:  
Kapselung und Absaugung der Lösemitteldämpfe über dem Lackierofen
- Abgasbehandlung:  
Oxydation der Lösemittel im Katalysator, thermische Verbrennung elektrisch oder in der Gasflamme
- Gleitmittelauftragstechnik  
Zuführung und Übertragung des Gleitwaxes über Einsatz von Lösemitteln und Filzen. Für ausgewählte Anwendungen auch lösungsmittelfreier Auftrag mittels Fadentechnik oder Filzen möglich.
- Einsatz von lösemittelarmen bzw. lösemittelfreien Rezepturen  
Die Verwendung von lösemittelfreien Wachsen als Gleitmittel ist bisher jedoch nur im begrenzten Umfang möglich.

### **5.4.2. Wasseremission**

Wasseremissionen spielen bei der Herstellung von Lackdrähten keine Rolle.

### **5.4.3. Abfall**

- Emulsionsaufbereitung  
Zur Reduzierung des Abfallaufkommens erfolgt die Emulsionsaufbereitung unter Verwendung von demineralisiertem Wasser, das anschließend verdampft wird und somit den zu entsorgenden Abfall minimiert.
- Emulsionsreinigung mittels Papierfilter, Zyklonabscheider
- Lackauftragungsvorrichtung  
Zur Reduzierung von Lackverlusten erfolgt der Lackauftrag mittels Lackbad mit Düsenabstreifung bei Lackkreislauf oder über eine dosierte Lackzufuhr mit Filzübertragung.

#### **5.4.4. Energie**

- Glühe  
indirekt beheiztes Rohr oder Schachtglühe mit Schutzgasatmosphäre (Wasserdampf, inerte Gase)
- Lackierofen  
Heißluft- Umluftsystem ohne / mit Strahlung unter Nutzung von Wärmegewinnung durch kat. / therm. Lösemittelverbrennung
- Die Drahtkühlung erfolgt mittels Raum- oder Außenluft.

#### **5.5. Auswahl und Empfehlungen bezüglich bester verfügbarer Techniken**

Bei der Festlegung der besten verfügbaren Techniken sind verschiedene Zusammenhänge zu berücksichtigen:

Darunter zählt die starke Abhängigkeit der unbehandelten Lösemittlemissionen vom Drahtdurchmesser. So sind nach Aussagen der Industrie für sehr kleine Durchmesser ( $< 0,08$  mm im Feindrahtbereich,  $< 0,3$  mm im Mitteldrahtbereich) auch mit den BVT-Kandidaten die in der EG Lösemittelrichtlinie vorgesehenen Grenzwerte gegenwärtig nicht erreichbar.

Weiterhin sind Kundenwünsche bezüglich der Konstanz und Stärke des Gleitmittelfilms zu berücksichtigen, so dass für die überwiegende Zahl an Produktqualitäten die BVT-Kandidaten beim Gleitmittelauftrag nicht einsetzbar sind.

Eine überschlägige Bewertung der BVT-Kandidaten liefert folgendes Bild, bei dem ↓ eine sinkende und ↑ eine steigende Umweltbelastung bedeutet. Zahlen in der Klammer (1) bei der Kosten/Nutzen Relation bedeutet eine Differenzierungsnotwendigkeit mit nachfolgendem Kommentar, "ok" bedeutet, dass die Technik gemäß IVU Richtlinie als verfügbar angesehen werden kann.

Techniken	L	A	W	E	R	Lärm	Risiko	Mehr- kosten
Kapselung und Absaugung der Lösemitteldämpfe über dem Lackierofen	↓							ok
Oxydation der Lösemittel im Katalysator, thermische Verbrennung elektrisch oder in der Gasflamme	↓			↓				ok
lösungsmittelfreier Gleitmittelauftrag mittels Fadentechnik oder Filzen möglich.	↓				↓			(1)
Emulsionsreinigung mittels Papierfilter, Zyklonabscheider		↓			↓			ok
Lackauftrag mittels Lackbad mit Düsenabstreifung bei Lackkreislauf oder über eine dosierte Lackzufuhr mit Filzübertragung					↓			ok
indirekt beheiztes Rohr oder Schachtglühe mit Schutzgasatmosphäre (Wasserdampf, inerte Gase)							↓	ok
Heißluft- Umluftsystem ohne / mit Strahlung unter Nutzung von Wärmegewinnung durch kat. / therm. Lösemittelverbrennung				↓				ok

A = Abfall; W = Wasser; L = Luft; E = Energie; R = Ressourcen

Tabelle 5-7 Überschlägige Bewertung der BVT-Kandidaten - Lackdrahtproduktion

(1) Ein lösungsmittelfreier Gleitmittelauftrag mittels Fadentechnik oder Filzen ist derzeit nur für ausgewählte Anwendungen möglich. Es sind erhebliche Mehrkosten anzusetzen für die technischen Systeme und deren Wartung.

Die in Deutschland eingesetzten Technologie und BVT-Kandidaten sind in der Lage, Umweltbelastungen deutlich zu verringern und sollten im Rahmen eines BVT-Dokuments aufgenommen werden.

Die in Deutschland betriebenen Anlagen - und dazu zählen auch Neuanlagen - erfüllen die von der Lösemittelverordnung vorgesehenen Vorgaben nur bei Verwendung besonderer Gleitmittelauftragsverfahren für ausgewählte Anwendungen. Bei den Verhandlungen im Rahmen eines BVT-Dokumentes erscheint es empfehlenswert, den Stand, den die Lösemittelverordnung vorsieht, unter Berücksichtigung der Durchmesserabhängigkeit der Emissionen als BVT einzubringen.

## 5.6. Neue fortschrittliche Verfahren

Anlagenkomponenten	Stand der Technik	Zukünftige Entwicklungen/Visionen
<b>Ziehprozess</b>		
Ziehmaschine	Nassziehmaschinen mit Scheiben bzw. Konen, mit Schlupf arbeitend	Mittelzug- und Inline-Ziehmaschinen, die schlupffrei arbeiten
Glühe	Elektrische Widerstandsglühe mit Dampf- /Schutzatmosphäre und Drahtkühlung /-trocknung mittels Ziehemulsion und Druckluft	Glühung im Plasmastrom mit inertem Gas für Schutzatmosphäre. Kühlung und Trocknung wie vor.
Emulsionsreinigung	Papierfilter, Zyklonabscheider	/
Emulsionsaufbereitung	Demineralisiertes Wasser	/
Blankdraht-Reinigung vor Einlauf in Glühe	Schwämme+ demineralisiertes Wasser mit Filterkreislauf, Papierfilter (trocken)	Plasmastrom, Ultraschall mit Filterkreislauf
<b>Lackierprozess</b>		
Glühe	indirekt beheiztes Rohr oder Schachtglühe mit Schutzgasatmosphäre (Wasserdampf, inerte Gase)	Plasmastrom
Lackauftragungsvorrichtung	Lackbad mit Düsenabstreifung bei Lackkreislauf, dosierte Lackzufuhr mit Filzübertragung	Extrudersystem, 2k-Auftrag
Einbrennofen	Heißluft- Umluftsystem ohne / mit Strahlung unter Nutzung von Wärmegewinnung durch kat. / therm. Lösemittelverbrennung	entfällt bei Einsatz von Extrudierverfahren oder wird ersetzt durch UV-Strahlungsheizung (UV-härtende Lacke)
Drahtkühlung	mittels Raum- oder Außenluft	Druckluft, flüssige Kühlmittel mit Trockner
Abgasbehandlung	Oxydation der Lösemittel im Katalysator, thermische Verbrennung elektrisch oder in der Gasflamme	entfällt ggfs.



Gleitmittelauftrag		
Auftragstechnik	Zuführung und Übertragung des Gleitwachses über Einsatz von Lösemitteln und Filzen. Für ausgewählte Anwendungen auch lösungsmittelfreier Auftrag mittels Fadentechnik möglich.	Gleitlack mittels Filzen oder Düsen auf Draht übertragen und im Lackierofen einbrennen
Abgasbehandlung	keine	bei Einsatz isolierender Gleitlacke (Substitution von Drahtlacken und Gleitmitteln): ggfs. vorhandene Lösemittel werden im Ofen kat. oder therm. verbrannt unter Wärmege- winnung.
Einsatzstoffe	Stand der Technik	zukünftige Entwicklungen/Visionen
Emulsion	Mineral- / Synthetiköle, Seifen	wasserlösliche Ziehemulsion
Lack	in Lösemittel gelöste Harze	Lösemittelfreie bzw. Lösemittel nicht freisetzende Isolierharze bzw. - Kunststoffe
Gleitmittel	Lösemittelhaltige Wachse, in be- grenzter Anwendung auch lösemit- telfreie Wachse und wässrige Disper- sionen (zur Zeit aber noch Sonderfäl- le, nicht Stand der Anwendungspra- xis	Isolierende Gleitlacke

Tabelle 5-8 Mögliche zukünftige Entwicklungen bzw. Visionen

## Sollvorgaben aus Regelwerken

Die Beschichtung von Kupferdrähten, im speziellen „Jede Tätigkeit zur Beschichtung von metallischen Leitern, die zum Wickeln von Spulen verwendet werden“ ist eine Beschichtungstätigkeit im Sinne von Anhang II der 31. BImSchV.

Hierfür sind in Anhang III, Punkt 7 folgende Schwellenwerte und Emissionsgrenzwerte vorgesehen:

<b>Tätigkeit</b>		<b>Schwellenwert</b> (Schwellenwert für den Lösemit- telverbrauch in t/a)	<b>Gesamtemissions- grenzwert</b> [g/kg Draht]
7.1	Anlagen zum Beschichten von Wickeldraht mit phenol-, kresol- oder xylenolhaltigen Beschichtungsstoffen	0	5 10 <sup>1)</sup>
7.2	Anlagen zum Beschichten von Wickeldraht mit sonstigen Beschichtungsstoffen	5	5 10 <sup>1)</sup>

1) gilt für Anlagen mit einem mittleren Drahtdurchmesser von  $\leq 0,1$  mm

Tabelle 5-9 Schwellenwerte und Emissionsgrenzwerte gemäß 31. BImSchV

Nach der 4. BImSchV, Spalte 2, Punkt 5.5 ist ein vereinfachtes Genehmigungsverfahren erforderlich für

- "Anlagen zum Isolieren von Drähten unter Verwendung von Phenol- oder Kresolharzen."

## **6. Herstellung von Reibbelägen**

### **6.1. Allgemeine Informationen**

In Anlagen zur Herstellung von Reibbelagträgern mit Kleber und Gummilack und bei der Herstellung von Feuchtmischungen werden organische Lösemittel in IVU-relevanten Mengen eingesetzt.

#### **Einsatzbereiche**

Reibbeläge kommen als Brems- oder Kupplungsbeläge bei Fahrzeugen aller Art wie auch bei Maschinen und sonstigen industriellen Anwendungen zum Einsatz. Alle Reibbeläge können mittels Trocken- oder Feuchtverfahren (Trocken- oder Feuchtaufbereitung) hergestellt werden.

#### **Produktions- und Absatzzahlen**

In Deutschland gibt es weniger als zehn Unternehmen, die Reibbeläge herstellen. Das Produktionsvolumen umfasst

- ca. 45 Millionen Trommelbremsbeläge für Kfz
- ca. 20 Millionen Trommelbremsbeläge für LKW
- ca. 140 Millionen Scheibenbremsbeläge für Kfz
- ca. 20 Millionen Industriebeläge
- ca. 10 Millionen Kupplungsbeläge für Kfz

Der Umsatz der Reibbelagindustrie beträgt ca. 670 Millionen €/a. Die deutsche Herstellung umfasst bei Bremsbelägen etwa die Hälfte der europäischen Produktion, bei Kupplungsbelägen ca. 30 %.

Alle Rohstoffe zur Herstellung von Reibbelägen unter Verwendung von Phenoplasten und sonstigen Kunstharzbindemitteln sowie Lösemittel werden eingekauft.

#### **Charakterisierung des Produkts "Reibbeläge" und Qualitätsanforderungen**

Das Produkt Reibbelag ist ein Sicherheitsbauteil und unterliegt strengen Qualitätsanforderungen. Überwiegender Abnehmer ist die Kfz-Industrie, die Trommel- und Scheibenbremsbeläge sowie Kupplungsbeläge benötigt. Darüber hinaus werden Reibbeläge für Industriemaschinen hergestellt.

Trommel- und Scheibenbremsbeläge bestehen je nach Einsatzgebiet aus 15 bis 30 Komponenten. Zu den wichtigsten zählen organische und anorganische Faserkomponenten, Metalle, Kautschuk, Gleitmittel und Bindemittel, wobei das Bindemittel "Harz" fast ausschließlich als Phenolharze eingesetzt wird. Der Harzanteil beträgt im Regelfall zwischen 5-10%, bei Sonderfällen auch bis zu 35%.

Je nach Bindemitteltype unterscheidet man zwischen Trocken- und Feuchtaufbereitung der Bremsbelagmischung, wobei bei der Trockenaufbereitung Pulverharze und bei der Feuchtaufbereitung Flüssigharze bzw. Harzlösungen zum Einsatz kommen. Nach Lieferantenangaben (Harzhersteller) werden mehr als 80% der Trommel- und Scheibenbremsbeläge nach dem Trockenverfahren hergestellt, wobei die verbleibenden 20% aufgrund der hohen Gesamtproduktionsmengen IVU-relevant sein dürften. Das gebräuchlichste organische Lösemittel bei der Feuchtaufbereitung ist Ethanol.

Folgende Normen sind für die Reibbelagherstellung relevant:

- VDA 6.1
- QS 9000
- ECE R90
- ISO 14001
- ISO/TS 16949

Wesentlich für die Qualitätsanforderungen der Reibbeläge sind insbesondere die Vorgaben der Kfz-Industrie. (Qualitätsvereinbarungen, technische Spezifikationen, Werknormen)

Erwähnt werden sollte in diesem Zusammenhang, dass bei vielen Reibbelägen das Produktionsverfahren als "Produktbestandteil" zu werten ist, so dass Änderungen am Herstellungsverfahren mit den Kunden abgestimmt und z.B. auch dem Kraftfahrtbundesamt gemeldet werden müssen. Ohne Zustimmung von Kunden ist eine Substitution des Feucht- durch das Trockenverfahren bei bestehenden Produkten nicht möglich.

## 6.2. Angewandte Verfahren und Techniken

### 6.2.1. Übersicht über die Herstellungsprozesse

Die Herstellung von Reibbelägen folgt im Wesentlichen den folgenden Schemata:

Bremsbeläge:

Herstellungsprozess	Lösemittelrelevanz
Belagträger-Beschichtung	Ja
Mischungsherstellung	z.T.
Formgebung/Pressverfahren	z.T.
Endaushärtung	z.T.
Mechanische Bearbeitung	nein
Scorchen	z.T.
Lackieren	z.T.
Beschriften	z.T.

Tabelle 6-1 Verfahrensschritte Bremsbeläge

Kupplungsbeläge:

Herstellungsprozess	Lösemittelrelevanz
Mischungsherstellung	ja
Garnimprägnierung und Trocknung	ja
Formgebung/Pressverfahren	z.T.
Endaushärtung	z.T.
Mechanische Bearbeitung	nein
Beschriften	nein

Tabelle 6-2 Verfahrensschritte Kupplungsbeläge

Im Folgenden sind die Prozessstufen und Verfahrensfliessbilder für Trommelbremsbeläge, Scheibenbremsbeläge und Kupplungsbeläge als wichtigste Herstellprozesse beschrieben.

## 6.2.2. Prozessstufen und Verfahrensfliessbilder

### Trommelbremsbeläge für PKW

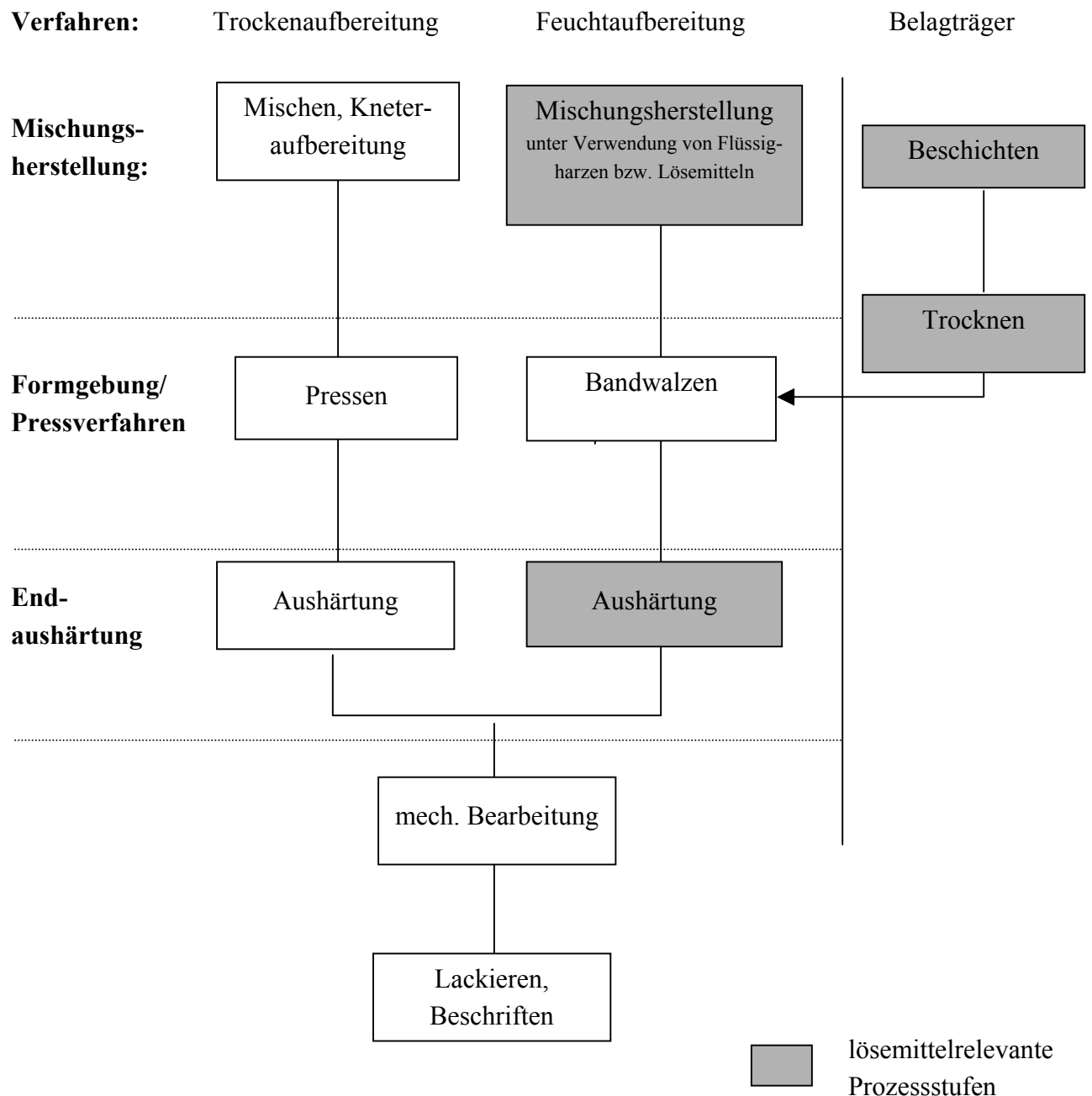


Abbildung 6-1 Herstellschema Trommelbremsbeläge

Bei der Feuchtaufbereitung wird die für den Bremsbelag vorgesehene Mischung aus den Einzelkomponenten unter Verwendung von Flüssigharzen bzw. Lösemitteln hergestellt. Diese Mischung wird durch Walzen auf einen Belagträger aufgebracht, der vorher unter Einsatz von Lösemitteln beschichtet und getrocknet wurde. Nach der Aushärtung der Mischung auf dem Belagträger erfolgt eine mechanische Bearbeitung, um die Formvorgaben zu erfüllen. Anschließend wird das Produkt lackiert und beschriftet.

## Scheibenbremsbeläge

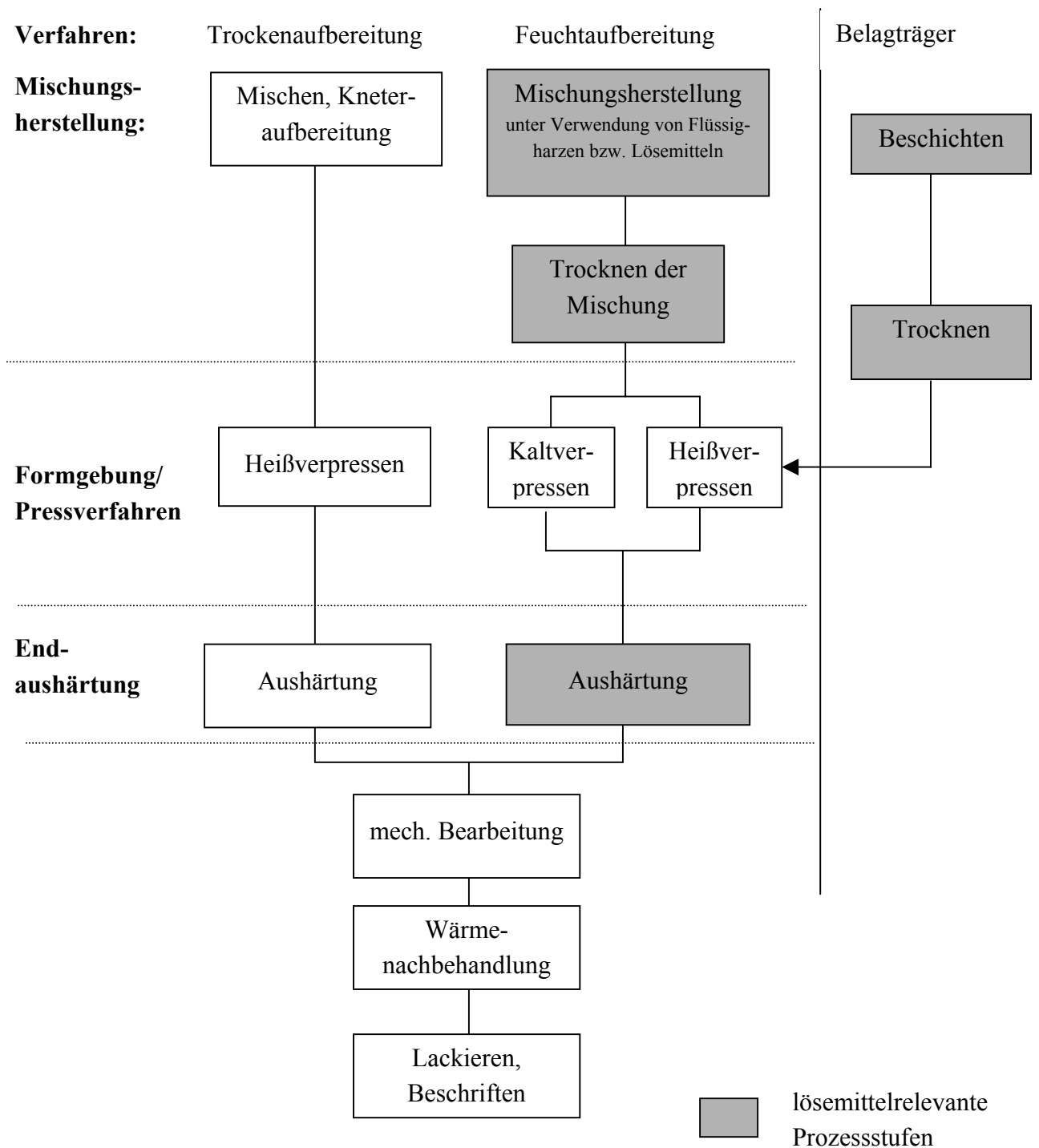


Abbildung 6-2 Herstellschema Scheibenbremsbeläge

Das Verfahren entspricht von seinen Grundzügen der Herstellung von Trommelbremsbelägen, die Mischung wird jedoch nicht durch Walzen, sondern durch Kalt- oder Heißverpressung auf den Belagträger aufgebracht. Alternativ zum Gummilack können Antinoisefolien aufgebracht werden.

## Kupplungsbeläge für Schaltgetriebe

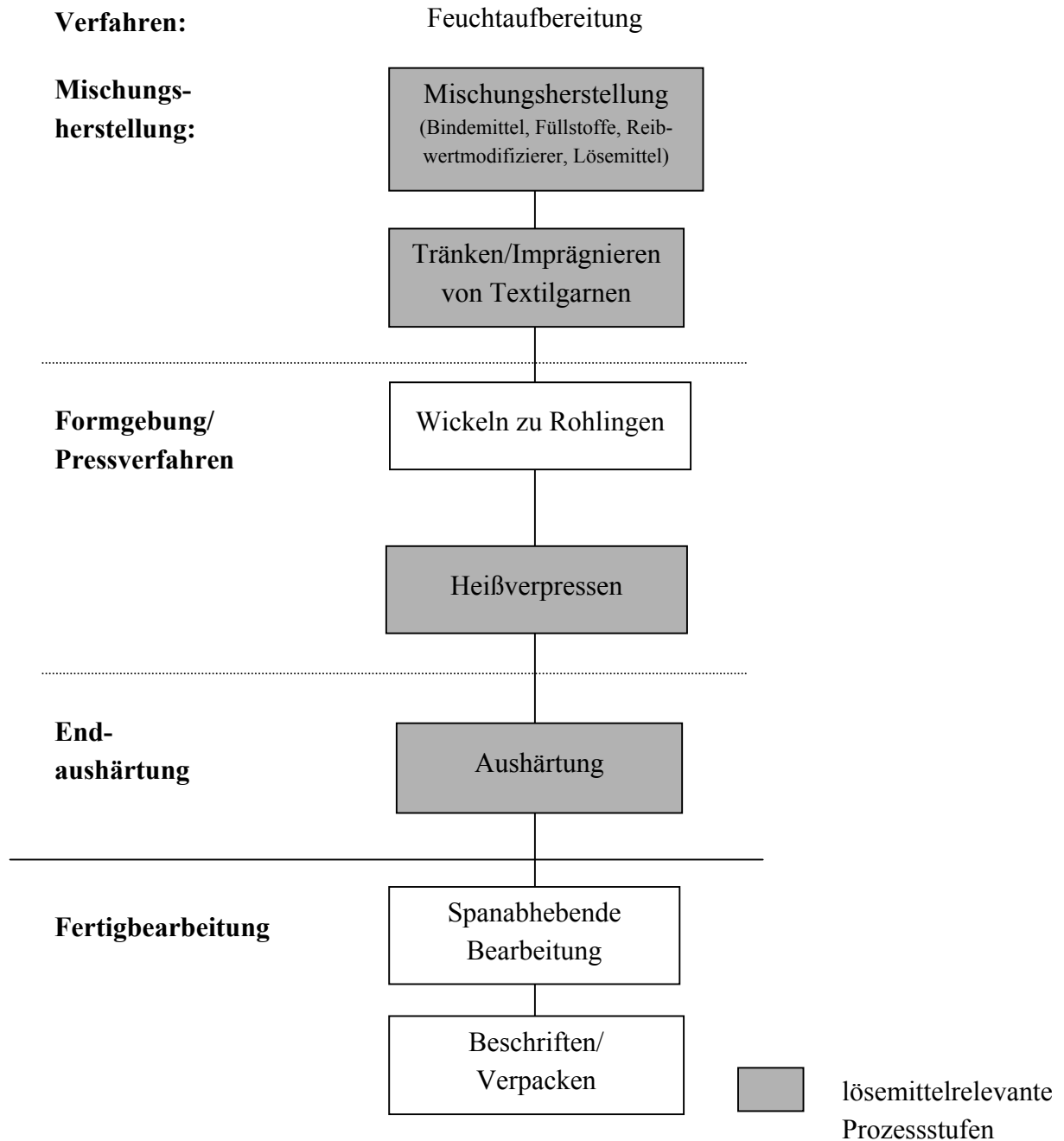


Abbildung 6-3 Herstellschema Kupplungsbeläge

Bei der Feuchtaufbereitung von Kupplungsbelägen für Fahrzeuge mit normalen Schaltgetrieben werden Garne in einer pastösen Harz-Kautschuklösung getränkt, anschließend getrocknet, zu Rohlingen gewickelt, diese anschließend verpresst, ausgehärtet, mech. bearbeitet und auf die Kupplungsscheiben genietet.



## Kupplungsbeläge für Automatikgetriebe (= Reiblamellen)

Bei diesem Herstellverfahren werden Spezialpapiere in einer Harzlösung (Lösemittelgehalt 40-70%) getränkt, anschließend getrocknet und auf Träger verklebt.

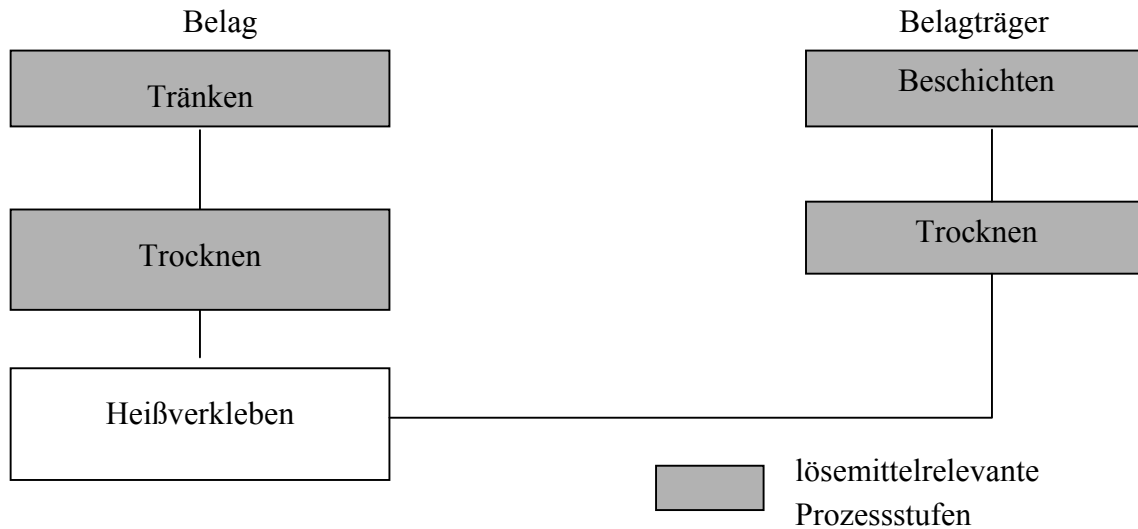


Abbildung 6-4 Herstellschema Kupplungsbeläge für Automatikgetriebe

### 6.2.3. Lösemittelrelevanz

Folgende Lösemittel werden bei der Herstellung von Reibbelägen eingesetzt:

Ethanol, Toluol, 2-Butanon, Butanolverbindungen, Aceton

### 6.2.4. Anlagenkomponenten und erforderliche Anlagendifferenzierung

Die beschriebenen Prozesse werden typischerweise durch Anlagen mit folgenden Komponenten realisiert:

#### Bremsbeläge

Mischer/Kneter, Trockner, Trägerplattenbeschichtung, Presse, Härteofen, Schleif-/Bohrmaschine, Scorchmaschine, Lackieranlage, Beschriftungsanlage (siehe Abbildung)

#### Kupplungsbeläge

Kneter, Rührmischer, Garnimprägnierung, Trockner, Wickelmaschine, Presse, Härteofen, Schleifmaschine, Bohrmaschine, Oberflächenimprägnierung, Beschriftungsanlage (siehe Abbildung)

## Anlagenkomponenten zur Herstellung von Bremsbelägen (Feuchtaufbereitung)

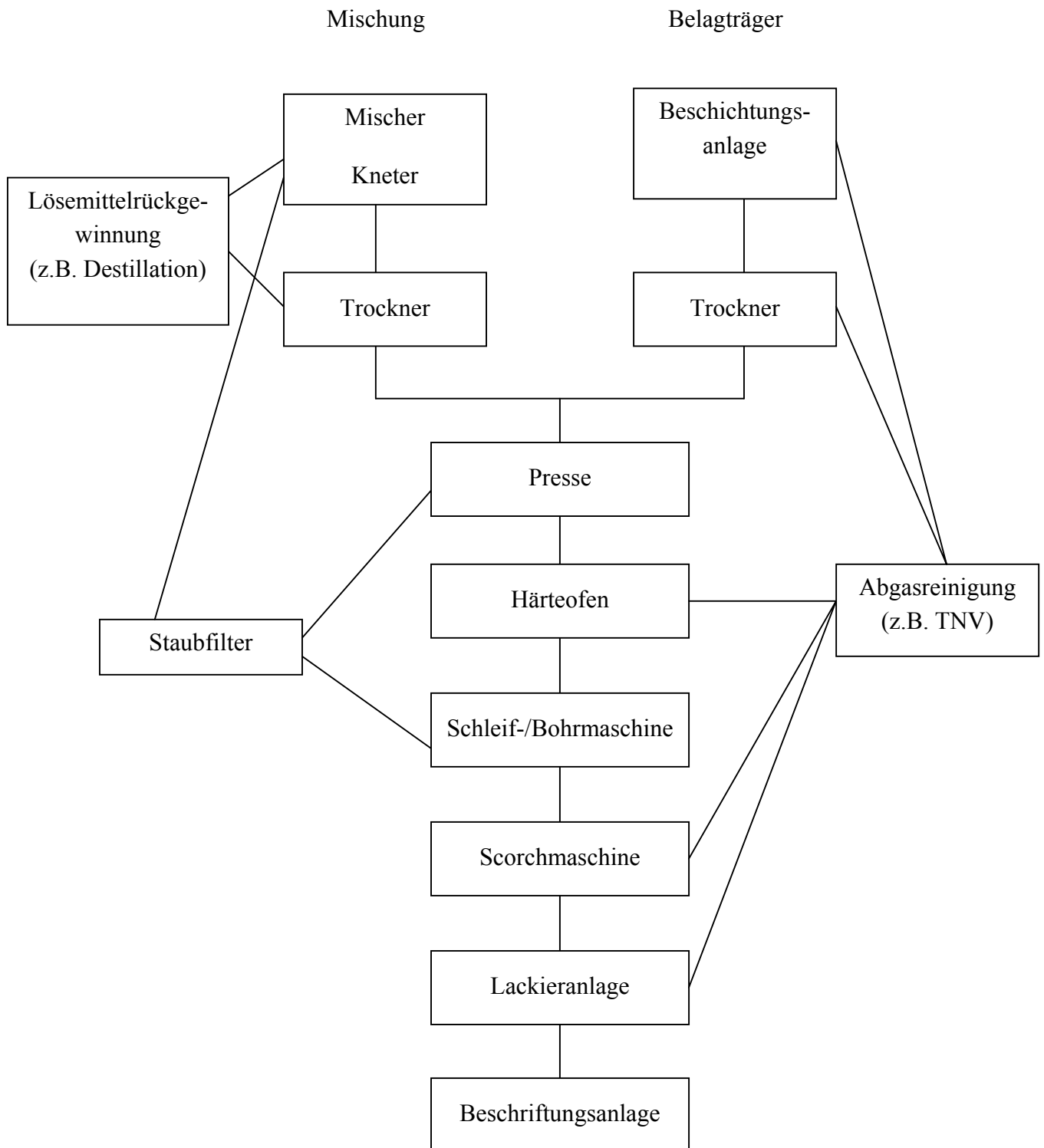


Abbildung 6-5 Anlagenkomponenten Herstellung von Bremsbelägen

## Anlagenkomponenten zur Herstellung von Kupplungsbelägen (Feuchtaufbereitung)

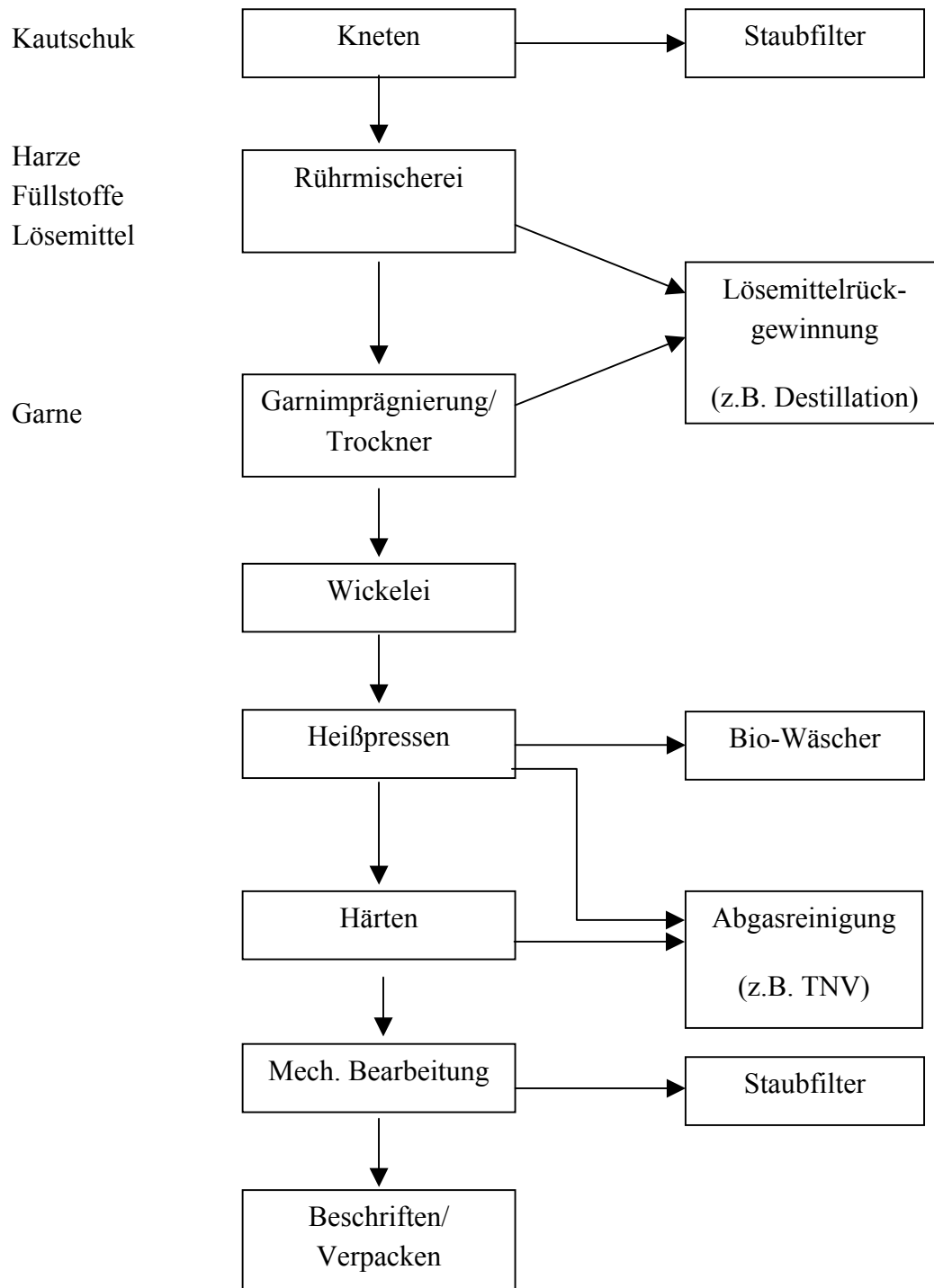


Abbildung 6-6 Anlagenkomponenten zur Herstellung von Kupplungsbelägen

### 6.3. Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte

**Anlage 1:** Anlage 1 stellt eine Anlage zur Herstellung von Scheibenbremsbelägen nach dem Feuchtaufbereitungsverfahren für PKW dar. Als Kapazität werden 10 Millionen Stück Bremsbeläge angesetzt.

Bei dieser Anlage sind Staubfilter, eine Lösemittelrückgewinnung sowie eine thermische Nachverbrennung eingesetzt.

Input		Output	
Rohstoffe			
Bindemittel	140 t/a	Produkt	3.345,5 t/a
Fasern	280 t/a		
Füllstoffe	214 t/a		
Reibstützer	346 t/a		
Metalle	420 t/a	Abfälle	354 t/a
Belagträger	2.300 t/a	Emission Staub	0,5 t/a*
Lösemittel			
Feuchtmischung	45 t/a	geringe diffuse Emissionen ( $< 5\%$ )	
Kleber/Lack	8 t/a		
Energie			
Wärmenachbehandlung		Emission ges. C	5 t/a**
Energie	16,1 Mio. KWh/a		

\* entspricht 0,08 kg/h Staub bei 200.000 m<sup>3</sup>/h

\*\* entspricht 1 kg/h Gesamt C bei 130.000 m<sup>3</sup>/h

Tabelle 6-3 Gesamtbilanz der Anlage 1 (Scheibenbremsbeläge)

**Anlage 2:     Anlage 2 stellt eine Anlage zur Herstellung von Trommelbremsbelägen für LKW dar. Als Kapazität werden 10 Millionen Stück Trommelbremsbeläge angesetzt.**

Die Anlage kann durch den Einsatz geeigneter Technologien einen lösemittelfreien Betrieb realisieren.

Input		Output	
Rohstoffe			
Bindemittel	2.931 t/a	Produkt	13.635 t/a
Fasern	4.299 t/a		
Füllstoffe	3.713 t/a		
Reibstützer	4.495 t/a	Abfälle	5.902 t/a
Metalle	4.105 t/a	Emission Staub	6 t/a*
Lösemittel			
Feuchtmischung	0 t/a		
Kleber/Lack	0 t/a		
Energie			
Wärmenachbehandlung		Emission ges. C	5,6 t/a**
Energie	16,1 Mio. KWh		

\* entspricht 0,96 kg/h Staub

\*\* entspricht 0,91 kg/h Gesamt C

Tabelle 6-4     Gesamtbilanz der Anlage 2 (Trommelbremsbeläge)

Aufgrund der geringeren technischen Anforderungen an Trommelbremsbeläge ist in dieser Anlage ein Trockenverfahren einsetzbar.

**Anlage 3:** Anlage 3 stellt eine Anlage zur Herstellung von Kupplungsbelägen dar. Als Kapazität werden 10 Millionen Stück Kupplungsbeläge angesetzt.

Die Anlage ist mit Staubfilter, Lösemittelrückgewinnung, Bio-Wäscher und TNV ausgestattet.

*Gesamtbilanz Anlage 3*

<i>Input</i>		<i>Output</i>	
Rohstoffe			
Bindemittel	790 t/a	Produkt	1.820 t/a
Füllstoffe	925 t/a		
Reibwertmodifizierer	250 t/a		
Garne	1.000 t/a		
Lösemittel			
Toluol	2.660 t/a	Emission/Verbrauch	130 t/a
		interne Rückgewinnung	2.530 t/a
Ethanol	550 t/a	Emission/Verbrauch	110 t/a*
		interne Rückgewinnung	440 t/a
		Abfälle zur Verwertung	55 t/a
		Abfälle zur Beseitigung	1.090 t/a
Energie			
Heizöl	1.150 t/a		
elektrische Energie	13 Mio. KWh/a		

\* entspricht 20 mg ges. C / Nm<sup>3</sup>

Tabelle 6-5 Gesamtbilanz der Anlage 3 (Kupplungsbeläge)

Die Position "Emission/Verbrauch" umfasst sowohl gefasste Emissionen vor der TNV als auch vergleichsweise geringe diffuse Emissionen (< 5%) und Produktbestandteile.

## **6.4. Ermittlung der BVT-Kandidaten**

Folgende Techniken bzw. Maßnahmen kommen als BVT-Kandidaten in Frage:

### **6.4.1. Luftemissionen**

- Einsatz lösemittelfreier Verfahren
- Verwendung von Wasserbasislacken
- Antinoisefolien anstelle von Gummilack
- Phenolharze mit geringen freien Phenolen
- Einsatz von Abgasreinigungsverfahren (TNV, RNV, KNV, biologische Verfahren)
- Rückgewinnungsanlagen für Lösemittel, Verfahren mit Kondensation, Destillation, Adsorption, Pervaporation
- Einsatz von Staubfiltern (z.B. Schlauchfilter, Sinterfilter, Filtermatten, Kassettenfilter)

### **6.4.2. Wasseremissionen**

Wasseremissionen spielen bei der Herstellung von Reibbelägen keine Rolle.

### **6.4.3. Abfall**

Eine anlageninterne Verwertung von Abfällen ist abhängig von den spezifischen Rezepturen und den vorgegebenen Qualitätskriterien. Allgemein gültige BVT-Kandidaten sind nicht verfügbar.

### **6.4.4. Risiko**

- geeignete Brandschutzvorkehrungen wie Sprinkleranlage
- gegebenenfalls Maschinen mit Ex-Schutz
- Gas-Löscheinrichtungen
- Löschwasserrückhaltung

## 6.5. Auswahl und Empfehlungen bezüglich bester verfügbarer

### Techniken

Eine überschlägige Bewertung der BVT-Kandidaten liefert folgendes Bild, bei dem ↓ eine sinkende und ↑ eine steigende Umweltbelastung bedeutet. Zahlen in der Klammer (1) bei der Kosten/Nutzen Relation bedeutet eine Differenzierungsnotwendigkeit mit nachfolgendem Kommentar, "ok" bedeutet, dass die Technik gemäß IVU Richtlinie als verfügbar angesehen werden kann.

Techniken	L	A	W	E	R	Lärm	Risiko	Kosten/ Nutzen Relation
Einsatz lösemittelfreier Verfahren	↓						↓	ok <sup>1)</sup>
Einsatz Wasserbasislacke	↓			↑			↓	ok
Antinoisefolien	↓					↓	↓	ok
Lärmarme Herstellungsverfahren						↓		ok
Phenolharze mit geringen freien Phenolen	↓							ok
Entfettung ohne CKW	↓							ok
Abgasreinigung	↓			↓				ok
Lösemittelrückgewinnung	↓				↓			ok
geeignete Brandschutzvorkehrungen		↓	↓				↓	ok

A = Abfall; W = Wasser; L = Luft; E = Energie; R = Ressourcen

1) vgl. Kap. 6.3, technische Anforderungen gemäß Anlage 2

Tabelle 6-6 Überschlägige Bewertung der BVT-Kandidaten - Reibbelagherstellung

Die Herstellung von Reibbelägen ist ein Prozess, der von vergleichsweise wenigen Unternehmen durchgeführt wird. Er kann ohne den Einsatz geeigneter Techniken und Ausgangsmaterialien insbesondere bezüglich Luftemissionen umweltrelevant sein. Die in Deutschland als BVT-Kandidaten eingesetzten Technologien und Maßnahmen weisen bei wirtschaftlich vertretbaren Kosten-Nutzen-Relationen einen vergleichsweise



hohen Standard auf. Ein Einsatz von Verfahren ohne organische Lösemittel ist für die Herstellung von Trommelbelägen bereits etabliert, für die anderen Reibbeläge gegenwärtig unter Qualitätsgesichtspunkten aber nicht realisierbar.

Als Fazit aus der Analyse leitet sich die Empfehlung ab, die als BVT-Kandidaten vorgeschlagenen Techniken im Rahmen des Sevilla Prozesses als BVT aufzunehmen.

## **6.6. Neue fortschrittliche Verfahren**

Hierzu sind aus der Reibbelagindustrie aufgrund der Wettbewerbssituation keine Angaben erhältlich. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sowohl die Komponenten als auch die Herstellverfahren für Reibbeläge weiterentwickelt werden.

## Sollvorgaben aus Regelwerken

Die Prozesse bei der Herstellung von Reibbelägen fallen entweder unter Punkt 8 der 31. BImSchV Anhang II "Beschichten von sonstigen Metall- oder Kunststoffoberflächen" (jede Tätigkeit, bei der Metall- oder Kunststoffoberflächen, auch von sperrigen Gütern wie Schiffe oder Flugzeuge, beschichtet werden, einschließlich der Aufbringung von Trennmitteln oder von Gummierungen) oder bei Verwendung von Garnen unter Punkt 10.1 (jede Tätigkeit zur Veredelung von Textilien und Geweben durch Beschichten oder Bedrucken).

Für Anlagen mit mehr als 15 t Lösemittelverbrauch pro Jahr sind in Anhang III der 31. BImSchV folgende Emissionsgrenzwerte vorgesehen:

Tätigkeit		Emissionsgrenzwert für gefasste behandelte Abgase [mg C/m <sup>3</sup> ]	Grenzwert für diffuse Emissionen <sup>1)</sup> [in % der eingesetzten Lösemittel]
8.1	Anlagen zum Beschichten von sonstigen Metall- oder Kunststoffoberflächen	50 <sup>3)</sup> 20 <sup>3), 4)</sup>	10 <sup>2)</sup> 20
Tätigkeit		Emissionsgrenzwert für gefasste Abgase [mg C/m <sup>3</sup> ]	Grenzwert für diffuse Emissionen [in % der eingesetzten Lösemittel]
10.1	Anlagen zum Beschichten oder Bedrucken von Textilien und Geweben	50 <sup>3)</sup> 20 <sup>3), 4)</sup> 75 <sup>5)</sup>	10

- 1) flüchtige organische Verbindungen, die in gefassten unbehandelten Abgasen enthalten sind, zählen zu den diffusen Emissionen
- 2) bei automatisierter Beschichtung bahnenförmiger Materialien
- 3) für Beschichten und Trocknen
- 4) bei Anwendung von Abgasreinigungseinrichtungen mit thermischer Nachverbrennung
- 5) gilt für Anlagen mit Wiederverwendung organischer Lösemittel

Tabelle 6-7 Emissionsgrenzwerte gemäß 31. BImSchV

Nach Punkt 5.9 Spalte 2 der 4. BImSchV ist ein vereinfachtes Genehmigungsverfahren erforderlich für

*"Anlagen zur Herstellung von Reibbelägen unter Verwendung von 10 Kilogramm oder mehr je Stunde an Phenoplasten oder sonstigen Kunstharzbindemitteln, soweit kein Asbest eingesetzt wird".*

## 7. Produktion von Magnetbändern

### 7.1. Allgemeine Informationen

Magnetbandprodukte werden derzeit als Speicher für analoge und digitale Audiodaten (Musikkassetten, A-DAT), Videodaten (VHS-Cassetten, DVC, Digital Betacam, D-VHS) sowie für die digitale Datenspeicherung (Disketten und Computerbänder) eingesetzt.

Organische Lösemittel werden dabei zum Applizieren der Magnetschicht auf das Trägermaterial (Kunststoffolie) benötigt. Hierzu werden jährlich mehr als 200 t organische Lösemittel (z.B. cyclische Ether und Ketone) eingesetzt.

### Produktions- und Absatzzahlen

In Deutschland werden an zwei Produktionsstandorten eines Unternehmens ca. 2,5 Mrd. m<sup>2</sup> Magnetbänder jährlich hergestellt. Dieses Produktionsvolumen stellt etwa zwei Drittel aller in Europa hergestellten Magnetbänder dar. Es gibt derzeit eine deutliche Überkapazität von Magnetbändern auf dem Weltmarkt, der Absatz wird daher auch sehr stark durch den Preis bestimmt. Die wesentlichen Konkurrenten produzieren in Südkorea und verstärkt in China und könnten den weltweiten Bedarf allein decken.

### Charakterisierung des Produkts "Magnetband"

Ein Magnetbandprodukt, dessen Gesamtdicke je nach Verwendungszweck zwischen 9 µm (Kompaktkassette) und 75 µm (3,5“-Diskette) variieren kann, setzt sich aus folgenden Schichten zusammen:

- Trägerfolie
- Magnetschicht
- (Rückseitenbeschichtung)

Als Trägerfolie wird heute meist PET-Folie (PET: Polyethylenterephthalat) mit unterschiedlichen Dicken (6 µm bis 70 µm) verwendet. Auf das Trägermaterial wird die Magnetschicht, das eigentliche Speichermedium für die magnetischen Signale, als Dispersion mit verschiedenen Beschichtungsverfahren aufgebracht. Die Magnetdispersionen zur Herstellung der Magnetschichten setzen sich im Wesentlichen aus folgenden Komponenten zusammen:

- Magnetpigmente (Eisenoxide, Cobalt-dotierte Eisenoxide, Chromdioxid, Reineisen)
- Bindemittel (z.B. Polyvinylchlorid, Polyurethane)
- Lösemittel (z.B. cyclische Ether, Ketone)
- Dispergierhilfsmittel
- Gleitmittel
- Stützpigmente

## 7.2. Angewandte Verfahren und Techniken

### 7.2.1. Übersicht über den Herstellungsprozess

Die Herstellung von Magnetbändern folgt im wesentlichen folgenden Schema:

Herstellungsprozess	Lösemiteileinsatz
Dispergierung	ja
Beschichtung	ja
Trocknung	ja

Tabelle 7-1 Verfahrensschritte bei der Magnetbandherstellung

Aus den Einsatzstoffen werden über Mahlprozesse homogene Dispersionen hergestellt, die nach einer speziellen Filtration auf die Trägerfolien beschichtet werden. Vom Ansatz bis zum Auftrag der Dispersionen auf die Trägerfolie erfolgt die Herstellung in geschlossenen Systemen, es gibt daher bei dem Herstellprozess "Dispergierung" nur sehr geringe Emissionen von Lösemitteln.

In den Beschichtungsmaschinen wird in Trocknern das Lösemittel aus den Dispersionen abgedampft und einer Lösemittelrückgewinnungsanlage zugeführt. Zurück auf der Trägerfolie bleibt die feste Magnetschicht, die nur einen sehr geringen Restlösemittelgehalt aufweist. Das zurückgewonnene Lösemittel wird nach einer Aufarbeitung in einer Reinheit erhalten, dass es direkt in den Ansatzbereich der Dispergierung zurückgeführt werden kann.

### 7.2.2. Prozessstufen und Verfahrensfliessbilder

Die nachfolgende Abbildung stellt die Prozessstufen des Gesamtprozesses dar.

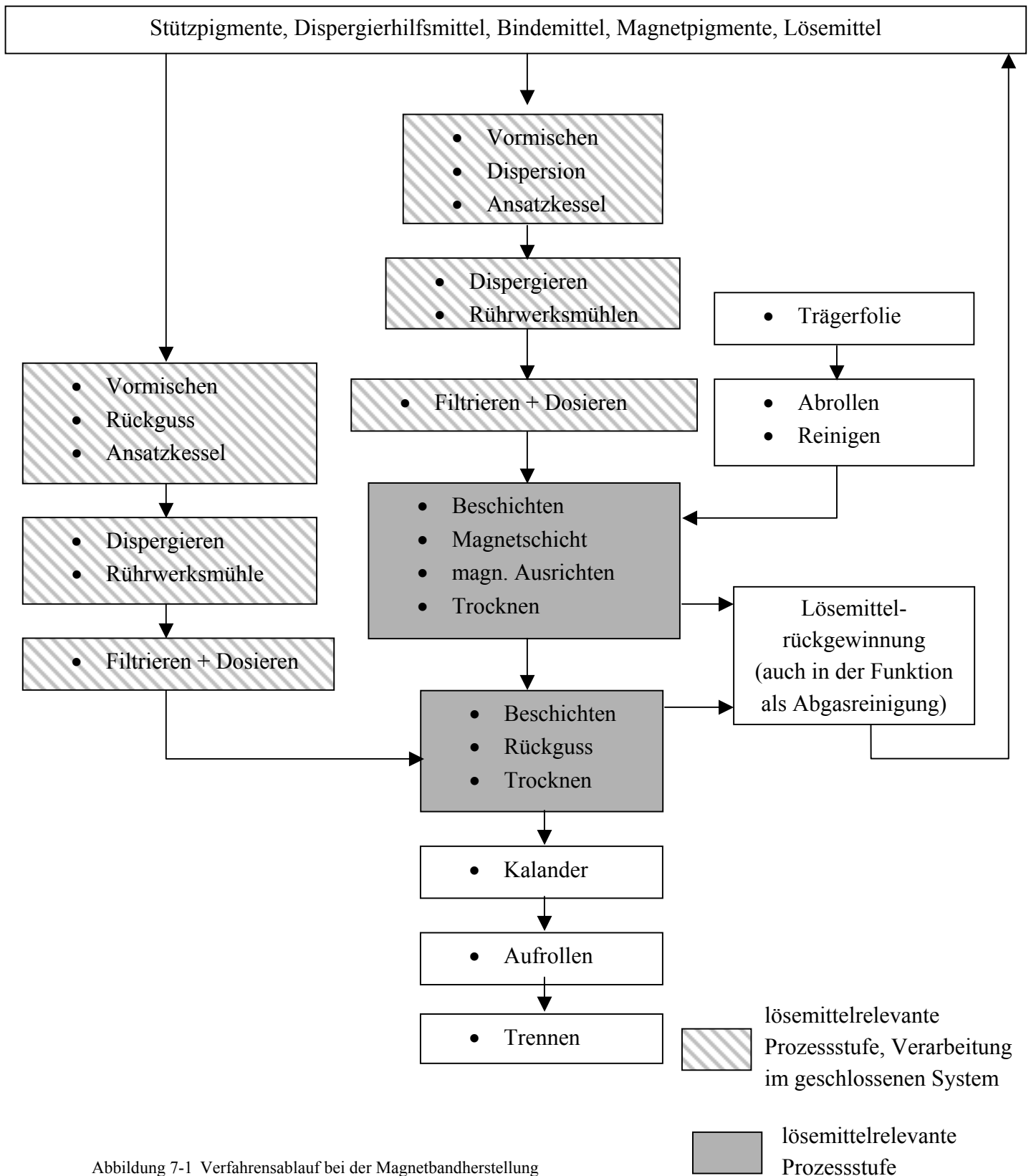


Abbildung 7-1 Verfahrensablauf bei der Magnetbandherstellung

Ein wichtiger Schritt bei der Magnetbandproduktion ist die Herstellung der Magnetdispersionen. Dazu werden zunächst die Komponenten der Dispersion (Magnetpigmente, Bindemittel, Lösemittel, Dispergierhilfsmittel, Gleitmittel und Stützpigmente) entsprechend der vorgegebenen Rezeptur in einem Ansatzkessel zusammengegeben und mit Hilfe eines Rührers vorvermischt. Anschließend wird das Gemisch im geschlossenen System mit Rührwerkskugelmøhlen zu einer homogenen Dispersion verarbeitet.

Die Dispersion wird nach dem Mahlvorgang über abgestufte Filtersysteme über Mengendosieranlagen den Beschichtungsanlagen zugeführt. In den Beschichtungsanlagen wird die Dispersion mit unterschiedlichen Auftragsverfahren (je nach Schichtdicke, Viskosität der Dispersion und Anwendungszweck) auf die Trägerfolie aufgetragen. Direkt nach dem „Gießern“ werden die einzelnen Pigmentnadeln über Magnete ausgerichtet. Bereits in der Richtstrecke beginnt der Trocknungsprozess.

Die Lösemittel aus der Dispersion können über zwei verschiedene Methoden zurückgewonnen werden:

a) Maschinen mit Inertgastrocknern (Kondensation)

Die Trockner der Beschichtungsmaschinen werden mit erwärmtem Inertgas versorgt. Durch die Gaszusammensetzung gibt es keine Explosionsgefahren in Trocknern, die Konzentration der Lösemittel im Inertgas ist nicht limitiert. Das Lösemittel wird bei diesem Verfahren durch Kondensation bei niedrigen Temperaturen zurückgewonnen. Der Restgehalt an Wasser im rückgewonnenen Lösemittel kann über Molekularsiebe entfernt werden. Das Lösemittel wird danach direkt wieder bei den Dispersionsansätzen verwendet.

b) Maschinen mit Lufttrocknern (Adsorption)

Die Trockner der Beschichtungsmaschinen werden mit erwärmter Luft versorgt. Die Konzentration der Lösemittel in der Abluft der Beschichtungsmaschinen darf damit keinesfalls über 50% der unteren Explosionsgrenze liegen. Die Konzentration des Lösemittels ist damit erheblich niedriger als bei Inertgastrocknern. Das Lösemittel wird durch Adsorption an Aktivkohle aus der Abluft der Trockner entfernt. Die Desorption der Adsorber erfolgt mit Wasserdampf oder Stickstoff. Das Lösemittel muss vor der Wiederverwendung über geeignete Destillationsschritte aufgearbeitet werden.

Nachdem die Magnetschicht getrocknet worden ist, wird das Band einem Kalander (Walzwerk) zugeführt. Dort wird die Oberfläche bei hohem Druck und hoher Temperatur geglättet und die Schicht verdichtet.

Nach dem Durchlauf durch den Kalandrier wird das Magnetband zu großen Rollen aufgewickelt. Die so erhaltenen Rollen werden in den Trennmaschinen erneut abgewickelt und dann je nach Anwendungszweck auf die erforderliche Breite und Länge geschnitten.

Bei der Fertigung von Magnetbändern mit Rückseitenbeschichtung wird analog zur Herstellung der Magnetdispersion eine Dispersion für die Rückschicht angesetzt, vorvermischt, gemahlen und filtriert. Die Rückseite kann in der Beschichtungsmaschine vor oder hinter der Magnetschicht über ein zweites Auftragswerk aufgebracht werden. Direkt danach wird in einem separaten Rückgusstrockner das Lösemittel ausgetrieben und ebenfalls über die Rückgewinnungsanlage gefahren.

Die Magnetbandherstellung erfordert höchste Präzision, da bereits kleine Unebenheiten in der Magnetschicht oder kleine Risse zu Fehlern beim Speichern der Daten führen und somit die Qualität des Produktes stark beeinträchtigen. Deshalb erfolgt sowohl das Beschichten als auch die Folgestufen in staubfreien geschlossenen Räumen.

Über ein prozessintegriertes kontinuierlich arbeitendes Kontrollsystem ist eine ständige Überwachung und Steuerung der Prozessparameter des gesamten Herstellprozesses möglich.

### 7.2.3. Lösemittelrelevanz

Bei den in der Magnetbandherstellung eingesetzten Lösemitteln handelt es sich vor allem um

- cyclische Ether
- Ketone

#### a) Lösemittelanlieferung, Dispergierung

Die Anlieferung der Lösemittel erfolgt in Tankzügen, bei der Tankzugentladung wird das Gaspindelverfahren eingesetzt. Mit diesen Maßnahmen werden die möglichen Emissionen auf ein Mindestmaß reduziert.

Die eingesetzten Lösemittel werden in Lagertanks vorgehalten und mittels Pumpen und Rohrleitungen in geschlossenen Systemen (Gaspindelung) direkt in die Ansatzkessel für die Dispersionen gepumpt.

Die Verarbeitung der Dispersionen nach dem Ansetzen: - vormischen, mahlen, filtrieren - erfolgt ebenfalls in geschlossenen Systemen. Geringe Lösemittlemissionen entstehen beim Dispergieren nur beim Wechseln der Filterkerzen. Um diesen Lösemittelverlust möglichst klein zu halten, werden die Filterkerzen vor dem Wechsel leer gesaugt. Außerdem wird bei einem Großteil der mit Dispersion oder Lacklösungen verunreinigten Filter das Lösemittel im Vakuum abgesaugt und danach auskondensiert. Die verbrauchten Filterkerzen können nicht wiederverwendet werden, sie werden entsorgt.

Alle Pumpen sind mit doppelwirkenden Gleitringdichtungen ausgestattet. Die Verdrängungsabläufe der Kessel beim Umpumpen werden direkt der zentralen Adsorberanlage zugeleitet. Aus Ex-Schutzgründen sind alle Kessel mit 25 mbar Stickstoff überlagert. Effektive Bodenabsaugsystem in Verbindung mit Objektabsaugungen sorgen dafür, dass die Arbeitsschutzbestimmungen eingehalten werden.

#### b) Beschichtungsanlagen mit Lufttrocknern

Nach dem Beschichtungsvorgang wird der Lösemittelanteil der Dispersion (50 bis 85%) und der Rückseitenbeschichtung (ca. 90%) in den nachgeschalteten Trocknern durch heiße Luft verdampft. Die mit Lösemitteln beladene Trocknerabluft wird über Rohrleitungen einer Adsorberanlage mit Aktivkohle zugeführt. Dort wird das Lösemittel in der Trocknerabluft (Lösemittelgehalt 10-30 g/m<sup>3</sup>) an der Aktivkohle adsorbiert und die gereinigte Luft an die Umgebung abgegeben. Mit solchen Adsorberanlagen kann ein Emissionswert von weniger als 50 mg C/Nm<sup>3</sup> erreicht werden. Die gefüllten Adsorber werden mit Wasserdampf oder Stickstoff desorbiert, das Desorbat wird zu-



nächst kondensiert und danach destillativ aufgearbeitet. Bei der Desorption mit Dampf muss in einem mehrstufigen Prozess das Lösemittel wieder vom Wasser befreit werden.

Die Beschichtungsmaschinen werden mit einem geringen Unterdruck betrieben, so dass es außer bei Wartungsarbeiten nicht zu einem Austritt von Lösemittel aus den Trockner kommen kann. Aus Arbeitsschutzgründen werden die Trockner so gefahren, dass die Raumabluft der Beschichtungsboxen als Zuluft für die Trockner genutzt wird.

#### c) Beschichtungsanlagen mit Inertgastrocknern

Bei diesen Anlagen wird der Lösemittelanteil der Dispersionen in den Trocknern mit heißem Inertgas verdampft und die mit Lösemittel beladene Gasatmosphäre ebenfalls über Rohrleitungen einer Kondensationsanlage zugeführt. Dort wird in einem mehrstufigen Prozess die Temperatur des Gasgemisches so weit abgesenkt, bis das Lösemittel fast vollständig kondensiert ist. Das vom Lösemittel befreite Inertgas wird wieder aufgeheizt und zurück in den Trockner geleitet. Das kondensierte Lösemittel wird zur Abtrennung von geringen Mengen Wasser über Molekularsiebanlagen geleitet.

Eine geringe Menge überschüssiges Inertgas wird, da es noch Lösemittel enthält, der Inertgaserzeugungsanlage zugeführt. Auch bei dieser Methode zur Lösemittelrückgewinnung wird ein Emissionswert von weniger als 50 mg C/Nm<sup>3</sup> erreicht.

#### d) Lösemittelaufarbeitung

Bei der Aufarbeitung der Lösemittel, die über Aktivkohleadsorption zurückgewonnen werden, muss bezüglich der Investitionskosten ein deutlich höherer Aufwand betrieben werden, als bei der Rückgewinnung über Kondensation. Die Rückgewinnungsrate für die Lösemittel liegt bei beiden Verfahren über 99%. Die destillative Aufarbeitung der Lösemittel nach den Adsorbern führt allerdings zu fast wasserfreiem Lösemittel (ca. 0,01%), während über Molekularsiebanlagen nach einer Kondensation Restwassergerhalte von ca. 0,3% erreicht werden können.

Die destillative Aufarbeitung der Lösemittel erfolgt in 3 Stufen:

- 1.Stufe: Destillation eines Azeotropes mit ca. 15% Wasser (Desorbat von den Adsorbern enthält ca. 50% Wasser)
- 2.Stufe: Natronlaugeextraktion
- 3.Stufe: Restentwässerung

Dabei fällt verbrauchter Natronlauge an. Die Natronlauge wird im Kreis gefahren, muss aber von Zeit zu Zeit ausgetauscht werden. Diese „Ablauge“ kann nur noch extern stofflich verwertet werden.

### 7.3. Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte

Die Gesamtbilanz einer Beschichtungseinheit zeigt bei der Betrachtung für das mengenmäßig größte Produkt auf Basis einer normierten Produktmenge von 100 Mio. m<sup>2</sup>/a das unten dargestellte Input- Output- Schema:

#### Gesamtbilanz Anlage

Input		Output	
Rohstoffe			
Magnetpigmente	360 t	Produkt	100 Mio. m²/a
Bindemittel	80 t	Abfälle zur thermischen und stofflichen Verwertung	siehe unten
Stützpigmente			
Aluminiumoxid	6		
Lösemittel			
Cyclische Ether	1.100 t/a	Rückgewonnenes Lösemit- tel	1.099 t/a
		Emissionen:	1,2 t/a
Hilfsstoffe			
Vernetzer	36 t		
Gleitmittel	4 t		
Energie			
Strom	8.000 MWh/a	Abwasser	10.000 t/a
Dampf	10.000 t/a		
Kühlwasser	440.000 m³/a		

Tabelle 7-2 Gesamtbilanz der Anlage (Magnetbandherstellung)

#### wichtige Abfallmengen und Verwertungswege

Abfallart	Menge [t/a]	Verwertung/Beseitigung
Bandabfälle	150	Thermische Verwertung
Verbrauchte Filter	34	Thermische Verwertung
Natronlauge	14	Stoffliche Verwertung

Tabelle 7-3 Abfälle und Verwertungswege der Anlage

wichtige Emissionen aus dem Produktionsprozess

Emissionen	Fracht [kg/a]	Reingaskonzentration [mg/m <sup>3</sup> ]
Cyclische Ether	1.200	20

Tabelle 7-4 wichtige Emissionen der Anlage

## 7.4. Ermittlung der BVT-Kandidaten

Folgende Techniken bzw. Maßnahmen kommen als BVT-Kandidaten in Frage:

### 7.4.1. Luftemission

Beim derzeitigen Kenntnisstand kommen zur Abgasreinigung in der Magnetbandherstellung aus ökologischen und ökonomischen Gründen nur zwei Verfahren (Aktivkohleadsorption, Kondensation) zum Einsatz, da beide Verfahren es erlauben, sowohl die in der Umweltgesetzgebung festgeschriebenen Emissionsgrenzwerte einzuhalten als auch die aus wirtschaftlichen Gründen erforderliche hohe Rückgewinnungsrate zu erreichen. Alle Verfahren, bei denen die Lösemittel in einer Form verarbeitet werden, die es nicht erlaubt, sie wieder in den Produktionsprozess zurückzuführen scheiden aus wirtschaftlichen Gründen aus. Emittiert wird damit nur der Anteil, der auf Grund der verfahrenstechnischen Gegebenheiten nicht zurückgewonnen werden kann. Alternative Verfahren zur Wasserdampfdesorption von Aktivkohleadsorbern haben bei der Verwendung von cyclischen Ethern auf Grund des höheren Energieverbrauches keine Bedeutung.

### 7.4.2. Wasseremission

Bei der Magnetbandherstellung wird Wasser hauptsächlich zu Kühlzwecken eingesetzt. Eine Mehrfachnutzung des Kühlwassers gewährt eine bessere Ausnutzung bei geringer Gewässerbelastung. Durch Einstellung des Druckverhältnisses in den Kühlern (Wasserdruck höher als Produktdruck) kann sichergestellt werden, dass eine Emission in das Kühlwassersystem sehr unwahrscheinlich ist.

Beim Lösemittelrückgewinnungsverfahren über Adsorption und anschließende Destillation muss das Ether-Wasser-Gemisch destillativ so getrennt werden, dass alles Lösemittel quantitativ vom Wasser getrennt wird. Die Freigabe des resultierenden Abwassers erfolgt chargenweise über einen Prozessgaschromatographen.

Von den Hilfsstoffen gelangen Fettsäuren in geringen Mengen in dieses Prozessabwasser. Die Emission in den Wasserpfad wird in einer biologischen Kläranlage abgebaut.

### 7.4.3. Abfall

Der größte Abfallstrom, der bei der Magnetbandherstellung anfällt, ist nicht verkaufsfähiges Band, im wesentlichen die sogenannten Randbänder. Für die Beschichtung werden 664 mm breite PET-Folien eingesetzt. Die Beschichtungsbreite beträgt 654 mm. In der Trennerei werden aus diesen Rollen 51 Bänder mit einer Breite von  $\frac{1}{2}$ “ geschnitten. Dabei entstehen 2 jeweils nur teilweise beschichtete Randbänder, die nicht verkauft werden können. Diese Randbänder sowie auf Grund von Beschichtungsfehlern nicht einsetzbares Material muss entsorgt werden.

Weitere Abfallströme sind mit Dispersionen getränkte Kunststofffilter und Putzlappen, die ebenfalls verbrannt werden, da eine Wiederverwendung sowohl der Filter als auch der Putzlappen nicht möglich ist.

### 7.4.4. Energie

Die Produktion von Magnetbändern erfordert Energie in Form von Strom, Dampf und Kühlwasser für die beschriebenen Prozessschritte. In der Regel wird die elektrische Energie aus dem öffentlichen Versorgungsnetz bezogen und über Schaltanlagen und Transformatoren in der gewünschten Spannungsebene an die Prozessmaschinen transportiert.

Die Produktion von Dampf erfolgt in der Regel nahe dem Produktionsstandort, um Verluste durch lange Transportwege zu vermeiden. Bei einer Verbrennung von Erdgas zur Dampferzeugung betragen die Emissionen maximal 40 mg/m<sup>3</sup> Kohlenmonoxid und 200 mg/m<sup>3</sup> Stickoxide. Die Gesamtemissionen betragen damit ca. 1200 kg/a Kohlenmonoxid bzw. 15.000 kg/a Stickoxide. Um den Energieeinsatz zu vermindern, werden die Rauchgase durch Wärmetauscher geleitet, welche die Brennerluft vorwärmt.

Das Kühlwasser wird in der Regel aus Brunnen entnommen, den Prozessanlagen zugeführt und in das Oberflächengewässer eingeleitet. Um das Gewässer nicht zu belasten, sind Messungen bezüglich pH-Wert, Temperatur, Leitfähigkeit und Gehalt an organischen Stoffen notwendig. Um das Kühlwasser optimal zu nutzen und die Maximaltemperatur bei der Einleitung einzuhalten, wird ein veränderbarer Teil des Kühlwassers wiederverwendet. Dadurch lässt sich die Temperatur bei der Einleitung steuern. Weiterhin kann mittels Wärmepumpen bzw. Kältemaschinen dem Kühlwasser weitere Energie entzogen oder zugeführt werden, um andere Energieformen wie Warmwasser oder Kaltwasser zu produzieren. Um zu verhindern, dass Fremdstoffe aus den Prozessanlagen in das Kühlwassersystem gelangen, dürfen zum einen keine Verbindungen zwischen Kühlwasser- und Produktleitungen bestehen, zum anderen muss die Kühlwasserseite stets einen höheren Druck aufweisen als die Produktseite.

#### **7.4.5. Risiko**

Da bei der Magnetbandherstellung große Mengen an leichtentzündlichen Lösemitteln verwendet werden, besteht hier Brand- und Explosionsgefahr. Deshalb sind umfangreiche Brandschutzmaßnahmen erforderlich.

Alle Einrichtungen an Prozessanlagen, in denen mit Lösemittel umgegangen wird, müssen so gebaut sein und ausgerüstet werden, dass keine Zündquellen entstehen. Hier sind besondere Anforderungen an elektrische Einrichtungen zu stellen sowie Maßnahmen zur Ableitung von elektrostatischen Aufladungen zu treffen. Dort wo dies technisch nicht möglich ist, muss durch eine Inertisierung die Entstehung von explosionsfähiger Atmosphäre verhindert werden. Zur Inertisierung wird Stickstoff verwendet.

Da sich Lösemittelbrände sehr schnell ausbreiten, kommt es auf eine frühe Branderkennung und Brandbekämpfung an, um größere Schäden an Menschen und Maschinen zu verhindern. Hierzu werden Brandfrüherkennungsanlagen eingesetzt. In einer 24 Stunden am Tag besetzten Alarmzentrale werden die eingehenden Informationen verarbeitet und weitergeleitet.

## 7.5. Auswahl und Empfehlungen bezüglich bester verfügbarer

### Techniken

Eine überschlägige Bewertung der BVT-Kandidaten liefert folgendes Bild, bei dem ↓ eine sinkende und ↑ eine steigende Umweltbelastung bedeutet. Zahlen in der Klammer (1) bei der Kosten/Nutzen Relation bedeutet eine Differenzierungsnotwendigkeit mit nachfolgendem Kommentar, "ok" bedeutet, dass die Technik gemäß IVU Richtlinie als verfügbar angesehen werden kann.

Techniken	L	A	W	E	R	Lärm	Risiko	Kosten/ Nutzen Relation
Lösemittelrückgewinnungsanlage (Kondensation bzw. Adsorption)	↓				↓			ok
Geschlossene Systeme in der Dispergierung (Gaspending)	↓				↓		↓	ok
Mehrfachnutzung des Kühlwassers			↓			↓		ok
Wärmerückgewinnungssysteme bei der Dampferzeugung				↓				ok
Inertisierung aller Kessel die Lösemittel enthalten							↓	ok
Brandfrüherkennungssysteme							↓	ok
Lärmschutzkabinen für alle Gebläse						↓		ok

A = Abfall; W = Wasser; L = Luft; E = Energie; R = Ressourcen

Tabelle 7-5 Überschlägige Bewertung der BVT-Kandidaten - Magnetbandherstellung

Generell beschäftigen sich in der EU nur sehr wenige Unternehmen mit der Herstellung von Magnetbändern.

In Deutschland gibt es einen Magnetband-Produzenten, der Techniken einsetzt, durch die Luftemissionen in großem Umfang vermieden werden. Eine IVU-Relevanz der betroffenen Anlage ist daher durch ein deutliches Unterschreiten der Mengenschwelle nicht gegeben.

Im Sinne einer Vermeidung bzw. Verringerung von Umweltbelastungen wäre es empfehlenswert, bei den Verhandlungen in Sevilla festzustellen, ob eine IVU-Relevanz bei anderen europäischen Anlagen gegeben ist. Für diesen Fall wäre es vorteilhaft, die aufgezeigten BVT-Kandidaten in ein BVT-Merkblatt aufzunehmen.

Es ist davon auszugehen, dass die wichtigsten Produzenten für den Weltmarkt in Asien noch wesentlich höhere Emissionen aufweisen. Auf diesbezügliche Ungleichgewichte könnte im Rahmen internationaler Kontakte eingegangen werden.

## **7.6. Neue fortschrittliche Verfahren**

Vorstellbar und in sehr geringem Maße verfügbar sind lösemittelfreie Verfahren zur Herstellung von Magnetbändern:

- a) Es können ferromagnetische Schichten auf Trägerfolien im Vakuum mittels Aufdampf- und oder Sputtertechniken hergestellt werden. Beide Verfahren kommen ohne jeden Einsatz von Lösemitteln und damit auch ohne die entsprechenden Emissionen aus. Der Nachteil beider Verfahren sind der hohe Energieeinsatz und die schlechte Ausbeute bezüglich der eingesetzten Metalle und auch die schlechte Bandausbeuten. Die Preise solcher Bänder liegen deshalb deutlich über denen nach konventionellen Techniken hergestellten und sind am Markt deshalb für Standardprodukte nicht durchsetzbar.
- b) Der Einsatz von Dispersionen mit Wasser als Lösemittel wurde bereits untersucht. Versuche dazu wurden bereits im Zeitraum 1979 – 1990 unternommen. Beim Einsatz von Wasser als Lösemittel können die herkömmlichen Magnetpigmente (Chromdioxid, Eisenoxide, Cobalt-dotierte Eisenoxide) theoretisch eingesetzt werden, die Bindemittel müssen angepasst werden. Das eigentliche Problem entsteht in den Trocknern der Beschichtungsmaschinen: anstatt Lösemittel müsste dann Wasser verdampft werden. Der Energieeinsatz wäre wegen der höheren Verdampfungsenthalpie des Wassers sehr viel höher, die vorhandenen Trockner würden nicht ausreichen, man müsste die Maschinen umbauen. Für neue Magnetbandanwendungen werden ausschließlich Reineisenpigmente eingesetzt. Diese Pigmente würden bei einer Verwendung von Wasser als Lösemittel spontan korrodieren und das Band wäre wertlos. In absehbarer Zeit stellt damit Wasser als Lösemittel keine Alternative dar.

## Sollvorgaben aus Regelwerken

Die Herstellung von Magnetbändern beinhaltet unter anderem die Beschichtung des Trägermaterials (Kunststofffolien) und ist damit eine Beschichtungstätigkeit im Sinne von Anhang II der 31. BImSchV.

Für Beschichtungstätigkeiten mit einem jährlichen Lösemittelverbrauch von mehr als 15 t sind in Anhang I und III unter Punkt 10.2 folgende Schwellenwerte und Emissionsgrenzwerte vorgesehen:

	<b>Tätigkeit</b>	<b>Emissionsgrenzwert für gefasste behandelte Abgase [mg C/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Grenzwert für diffuse Emissionen<sup>3)</sup> [in % der eingesetzten Lösemittel]</b>
10.2	Anlagen zum Beschichten von Folien- oder Papieroberflächen	50 <sup>1)</sup> 20 <sup>1), 2)</sup>	10

1) für Beschichten und Trocknen

2) bei Anwendung von Abgasreinigungseinrichtungen mit thermischer Nachverbrennung

3) flüchtige organische Verbindungen, die in gefassten unbehandelten Abgasen enthalten sind, zählen zu den diffusen Emissionen

Tabelle 7-6 Schwellen- und Emissionsgrenzwerte gemäß 31. BImSchV

Ein Genehmigungsverfahren nach der 4. BImSchV (Spalte 1 Nr. 5.1) ist erforderlich für

- *"Anlagen zum... ..Tränken von Gegenständen, Glas- oder Mineralfasern oder bahnen- oder tafelförmigen Materialien einschließlich der zugehörigen Trocknungsanlagen mit*

*a) Lacken, die organische Lösungsmittel enthalten und von diesen 250 Kilogramm oder mehr je Stunde eingesetzt werden,*

*[...]*

Ein vereinfachtes Genehmigungsverfahren nach der 4. BImSchV (Spalte 2 Nr. 5.1) ist bei niedriger angesetzten Schwellenwerten erforderlich für

- *"Anlagen zum... .. Tränken von Gegenständen, Glas- oder Mineralfasern oder bahnen- oder tafelförmigen Materialien einschließlich der zugehörigen Trocknungsanlagen mit*

*a) Lacken, die organische Lösungsmittel enthalten und von diesen 25 Kilogramm bis weniger als 250 Kilogramm je Stunde eingesetzt werden,*

*[...]*



## 8. Papierbeschichtung

### 8.1. Allgemeine Informationen

Der Bereich der Papierbeschichtung ist ausgesprochen heterogen. Grundsätzlich ist die "Beschichtung durch Bedrucken" von "sonstigen Beschichtungsverfahren" zu unterscheiden. Auf Druckverfahren wird nicht in diesem Kapitel, sondern in einem eigenen Teilband eingegangen; in diesem Kapitel werden die sonstigen Beschichtungsverfahren erörtert, wobei in diesem Zusammenhang auch auf das Tränken und Imprägnieren von Papieren eingegangen wird.

#### Einsatzbereiche

Eine "sonstige Beschichtung" erfolgt z.B.

- für einen Einsatz von Papier als Verpackungsmaterial (Beschichtung beispielsweise mit Paraffinen)
- für photochemische Zwecke (Beschichtung mit photoaktiven Substanzen)
- für einen Einsatz von Papier als Isolationsmaterial (Beschichtung mit Isolierstoffen)
- für einen Einsatz von Papier als Filtermaterial (Beschichtung mit Filtermaterialien)
- für einen Einsatz von Papier als Schleifmittel (Beschichtung mit Schleifkorn, vgl. Kap. 3)
- für einen Einsatz von Papier zu Klebezwecken (Beschichtung mit Klebstoff, vgl. Band DFIU)

Beschichtete, getränkte und imprägnierte Papiere werden sowohl unmittelbar bei der Papierherstellung („in-line“) als auch in einem getrennten Verfahren („off-line“) hergestellt.

Die generellen Produktionsprozesse zur Herstellung von Papier und Pappe laufen zum Großteil unter Einsatz wässriger Hilfsmittel ab. Sofern organische Lösemittel bei der Primärproduktion oder „in-line“ eingesetzt werden, werden korrespondierende Verfahren hier nicht behandelt. Sie werden als Bestandteil des BVT-Merkblattes "Pulp and Paper" beschrieben, da Industrieanlagen zur Herstellung von Papier und Pappe, deren Produktionskapazität 20 t pro Tag übersteigt, IVU-relevante Anlagen im Sinne von Anhang I, Punkt 6.1 Buchstabe b) der IVU-Richtlinie darstellen.

## Produktions- und Absatzzahlen

Nach Angaben des statistischen Bundesamtes lag die Produktion von gestrichenen, überzogenen, getränkten, geteerten, bituminierten, asphaltierten, gummierten oder mit Klebeschicht versehenen Papieren und Pappen (Güterklasseabteilungen 2112 56 und 57) und Pergament und Pergamentersatzpapier (Güterklasseabteilungen 2112 40 100 und 300) im Jahr 1999 bei insgesamt 563.000 t, was einen gewichtsmäßigen Anteil von ca. drei Prozent der gesamten Papierproduktion in Deutschland ausmacht. Die Jahresproduktion von imprägniertem Papier in Deutschland beträgt ca. 150.000 t [Lit. 10]. Grundsätzlich sind damit bis zu 80 Unternehmen in Deutschland angesprochen.

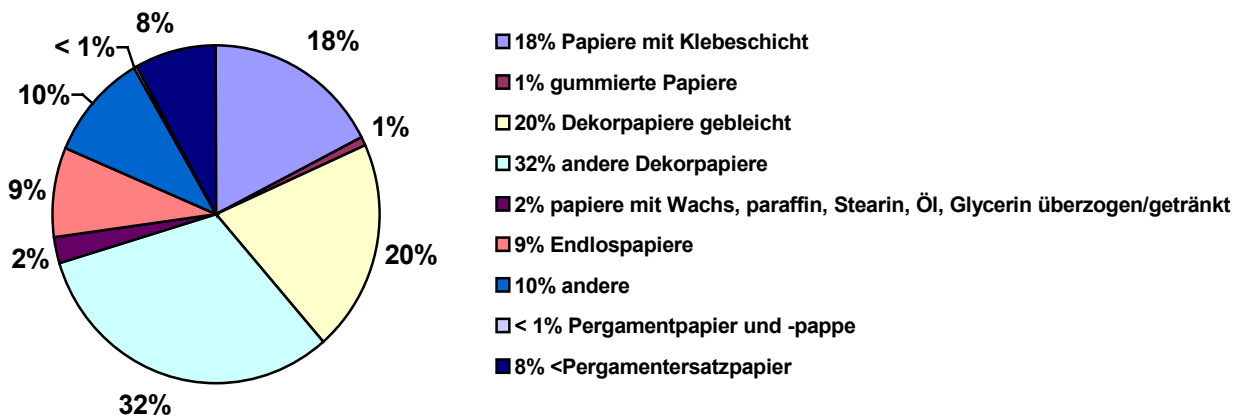


Abbildung 8-1 Gewichtsmäßige Bedeutung von Spezialpapieren in Deutschland in 1999 (Quelle: Statistisches Bundesamt)

Aufgrund der Tatsache, dass technische und Spezialpapiere im Mittel doppelt so teuer sind als grafische Papiere, ist ihre wirtschaftliche Bedeutung deutlich höher als ihre gewichtsmäßige Bedeutung einzustufen.

## **Charakterisierung des Produkts "Papier" und Qualitätsanforderungen**

Der Begriff "Spezialpapiere", d.h. beschichtete Papiere mit besonderen Eigenschaften, umfasst eine große Anzahl verschiedener Papiersorten, weshalb eine Eingrenzung dieser Gruppe schwierig ist. Solche speziellen Eigenschaften können z.B. folgende sein:

- Aromadichtigkeit
- Gasdichtigkeit
- Geruchs- und Geschmacksfreiheit
- Chemikalienbeständigkeit
- Beständigkeit gegen Bakterien und Schimmelpilze
- Heißsiegelbarkeit
- Korrosionsschutz
- Schutz gegen bestimmte Lichtwellenlängen
- Wasserdampfdichtigkeit
- Wasserfestigkeit und –dichtigkeit
- Wasserabweisung
- Trennwirkung
- Kälte- und Wärmebeständigkeit
- elektrische Isolationswirkung
- photochemische Eigenschaften
- Standfestigkeit gegen Feuchte und Luftdrücke

Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen, die an beschichtete, imprägnierte und getränkte Papiere und Pappen gestellt werden, variieren die eingesetzten Beschichtung, Imprägnierungs- und Tränkmaterialien stark in ihrer Zusammensetzung. Übergreifende charakteristische Kennwerte lassen sich daher nicht angeben.

## 8.2. Angewandte Verfahren und Techniken

Der Begriff "Beschichten" wird in der Praxis nicht eindeutig verwendet. Zum Teil werden darunter auch Vorgänge wie "Tränken" oder "Imprägnieren" verstanden, so dass alle drei Techniken in diesem Kapitel aufgenommen wurden.

Unter Beschichten wird in diesem Sektor das ein- oder beidseitige Auftragen eines flüssigen oder gasförmigen Stoffs auf die Papieroberfläche ohne Einsatz eines Haftvermittlers verstanden. Ziel der Beschichtung ist die Veränderung der Eigenschaften des Papiers. Der möglichst dünne Beschichtungsfilm soll nur begrenzt in die Papierstruktur eindringen. Der Charakter des Trägerpapiers soll erhalten bleiben.

Beschichtungsmittel für Papiere können Gase oder Dämpfe (z.B. bei der Metallisierung mit Aluminium; lösemittelfrei), Lösungen (z.B. beim Silikonisieren mit Silikon; z.T. mit organischen Lösemitteln), Dispersionen (z.B. beim Streichen mit wässrigen Pigmentdispersionen; z.T. mit geringen Anteilen an organischen Lösemitteln) oder Schmelzen (z.B. bei der Polyethylenbeschichtung von Fotopapieren; lösemittelfrei) sein. Beschichtungsmittel mit organischen Lösemitteln werden aus Umweltgründen zunehmend durch wässrige Systeme (z.B. Emulsionspolymere zur Latexbeschichtung; lösemittelfrei) ersetzt.

Im Gegensatz zum Beschichten (im engeren Sinn) von Papier, bei dem das Beschichtungsmittel oberflächlich aufgetragen wird und dort eine zusammenhängende Schicht ausbildet, wird beim Imprägnieren und Tränken das eingesetzte Imprägnier- bzw. Tränkmittel gleichmäßig im gesamten Papiergefüge verteilt und füllt die Porenräume teilweise oder vollständig aus. Eine klare Trennung von Imprägnier- und Beschichtungsverfahren ist schwierig, da die Übergänge fließend sind und bestimmte Stoffe sowohl zur Imprägnierung als auch zum Beschichten eingesetzt werden. Zwischen den Tätigkeiten "Imprägnieren" und "Tränken" von Papier besteht kein prinzipieller Unterschied. Der in der Papierindustrie gängige Begriff des "Leimens" ist dem Imprägnieren zuzuordnen. Die eingesetzten Stoffe werden u.a. als Leim- und Tränkharze bezeichnet.

Durch eine Imprägnierung können dem Papier bestimmte physikalische und chemische Eigenschaften verliehen werden (s.o.). So unterschiedlich wie die gewünschten Eigenschaften sind auch die eingesetzten Imprägniermittel. Zum Einsatz kommen verschiedene natürliche und synthetische Hilfsmittel wie Erdölprodukte (z.B. Paraffin oder Bitumenschmelzen), Kunststoffdispersionen, Harzdispersionen (für die Papierleimung), Mischungen aus Kunstharzen und Polymerdispersionen (z.B. als Möbelvorimprägnat), Kohlenwasserstoffderivate oder andere Chemikalien (z.B. Schwefelsäure → Echt Pergament; Zinkchlorid → Vulkanfiber), z.T. mit insektizider, fungizider oder bakterizider Wirkung.

### **8.2.1. Übersicht über den Herstellungsprozesse**

Beschichtete Papiere werden hergestellt, in dem

- Papier als Ausgangsstoff über Rollen an die Auftragsstelle geführt wird
- ein Auftrag von Beschichtungsmaterial über
  - Bäder
  - Walzen
  - Besprüheinrichtungen
  - Extruder
  - Tiefdruckwerkerfolgt
- das fertige Produkt getrocknet, aufgewickelt, gegebenenfalls geschnitten und konfektioniert wird

Das folgende Verfahrensschema veranschaulicht die wesentlichen Prozesse bei der Papierbeschichtung.

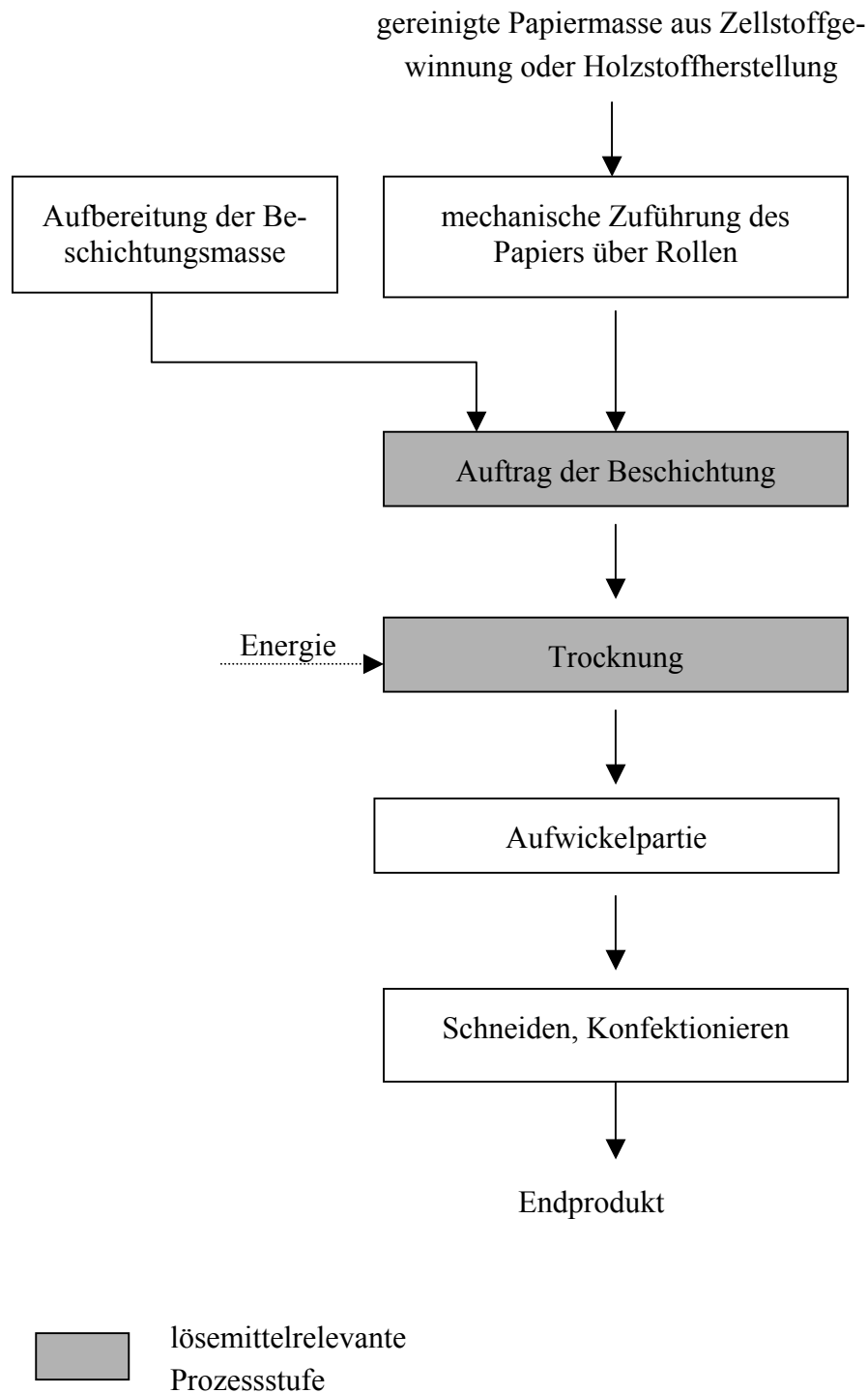


Abbildung 8-2 Verfahrensschema Papierbeschichtung

### 8.2.2. Prozessstufen und Verfahrensfliessbilder

#### Kunststoff- und Silikonbeschichtung von Papier

Bei diesem Verfahren werden Papierbahnen (z.T. auch Folien oder Vlies) zuerst beidseitig mit einer Polyolefinschicht und anschließend mit einer in Spezialbenzin gelösten Silikonschicht beschichtet. Diese Papiere finden hauptsächlich Anwendung als Trennpapiere für Aufkleber.

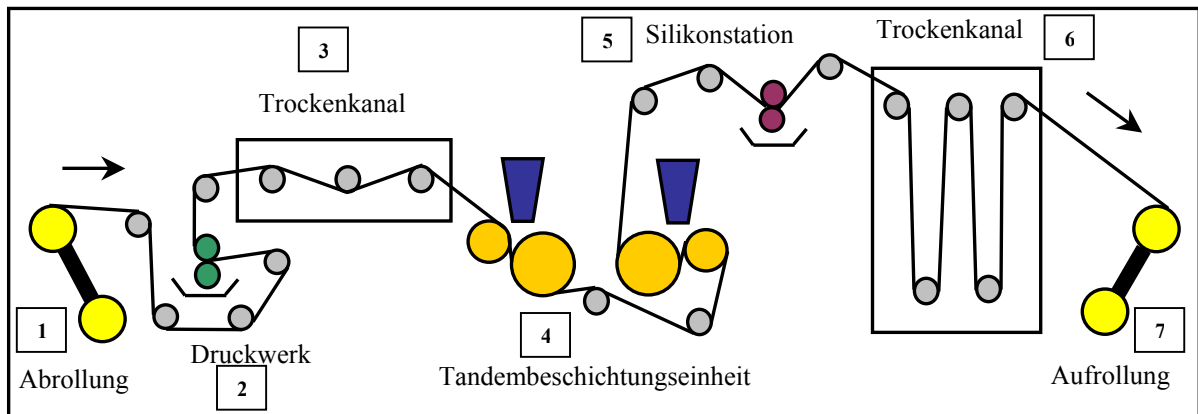


Abbildung 8-3 Verfahrensschema Kunststoff- und Silikonbeschichtung von Papier

Im folgenden werden die wichtigsten Prozessstufen kurz beschrieben:

- 1: Die Mutterrolle wird in der Abrollvorrichtung eingehängt und abgewickelt.
- 2: Im Tiefdruckverfahren wird das Papier mit einem Logodruck versehen. Es werden ausschließlich wasserverdünnte Farben verarbeitet.
- 3: Im Trockenkanal wird das Wasser verdampft und die Farbe getrocknet.
- 4: In der Tandembeschichtungseinheit werden beide Papierseiten mittels Breitschlitzextrusion mit Polyolefinen (PE / PP) beschichtet.
- 5: Der vollflächige Silikonantrag erfolgt über ein Rasterwalzenauftragswerk (tiefdruck-ähnliches Verfahren). Alle eingesetzten Silikone sind mit Lösemittel verdünnt. (lösemittelrelevante Prozessstufe)
- 6: Im Trockenkanal wird das Silikon ausgehärtet. Das lösemittelbeladene Abgas wird abgesaugt und über eine thermische Nachverbrennungsanlage (TNV) gereinigt. (lösemittelrelevante Prozessstufe)
- 7: In der Aufrollung wird das Fertigprodukt aufgewickelt und verpackt.

## Papierimprägnierung

Dieses Verfahren wird im wesentlichen zur Herstellung von Luft-, Kraftstoff- und Ölfilter, Innenraum-Luftfilter für Kfz sowie Staubsaugerbeutel eingesetzt.

Zum Imprägnieren werden dabei hauptsächlich in Methanol gelöste Kunstharze (Phenol bzw. Epoxidharze) verwendet.

In der folgenden Abbildung sind die wichtigsten Prozessstufen dargestellt:

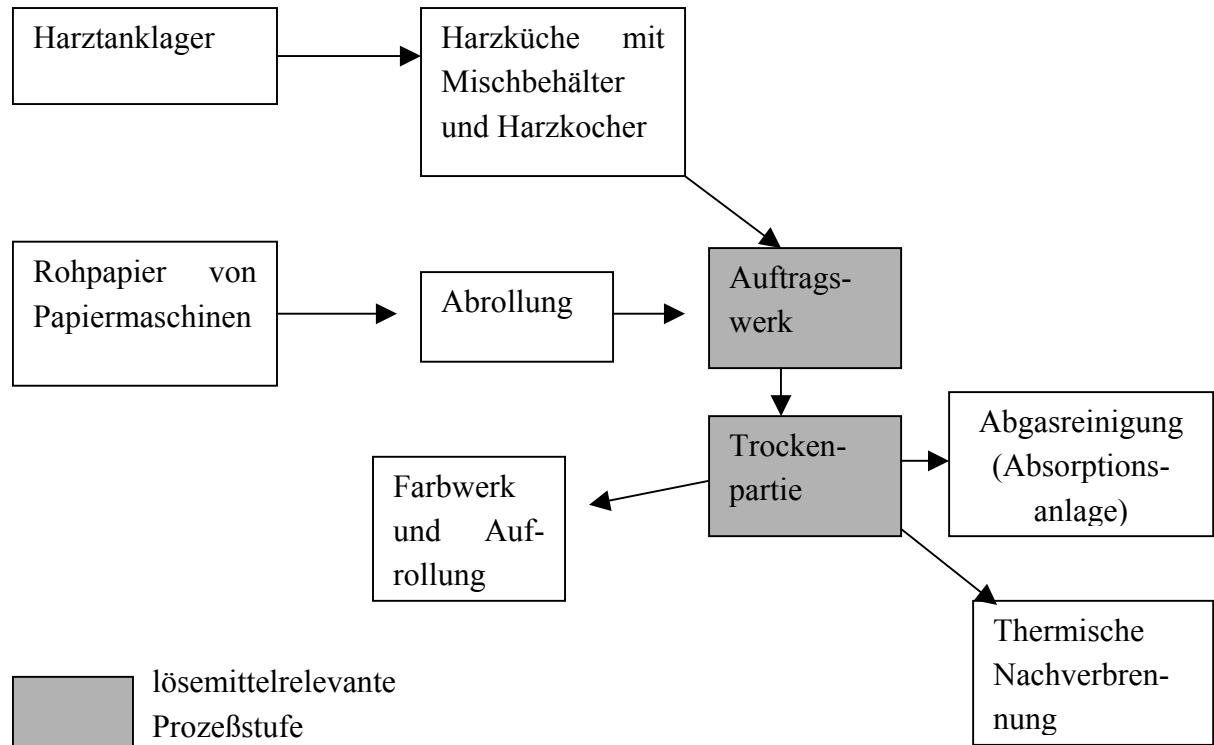


Abbildung 8-4 Verfahrensablauf Papierimprägnierung

Im Auftragswerk wird das Rohpapier mit der vorbereiteten Kunstharzmischung imprägniert und gelangt anschließend zur Aushärtung in den Trocknungskanal. Über eine Absaugvorrichtung wird das lösemittelhaltige Abgas einer Abgasreinigungsanlage bzw. TNV zugeführt.

Die Abgasreinigungsanlage besteht aus einem Wäscher durch den das methanolhaltige Abgas geführt wird sowie einer Destillationskolonne zur Rückgewinnung des Methanols.

Durch einen Unterdruck in der gesamten Imprägnieranlage wird gewährleistet, dass sämtliche Abgase der Abgasreinigung zugeführt wird.



### **8.2.3. Lösemittelrelevanz**

Folgende organische Lösemittel werden typischerweise eingesetzt:

- Ethylacetat
- Isopropylalkohol
- Ethanol
- Methanol
- Spezialbenzine
- Toluol, Xylol
- Methyletherketon

### **8.2.4. Anlagenkomponenten und erforderliche Anlagendifferenzierung**

Die beschriebenen Prozesse werden typischerweise in Anlagen mit folgenden Komponenten realisiert

- Rohstofflager
- Ansetzanlage / Mischer für Beschichtungsstoff
- Rolleneinrichtung
- Beschichtungsanlage/Auftragsvorrichtung (Extruder / Tiefdruckwerk / Rasterwalzenauftragswerk)
- Trocknung
- Absauganlage
- Lösemittelrückgewinnung
- Abgasreinigung
- Konfektionier- und Schneideeinrichtung
- Fertigwarenlager

### 8.3. Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte

#### Anlage 1 (Kunststoff- und Silikonbeschichtung)

Anlage 1 stellt eine Anlage zur Kunststoff- und Silikonbeschichtung von Papier dar. Das verarbeitete Papier wird von externen Herstellern zugekauft. Die Anlage ist mit einer thermischen Nachverbrennung mit Energierückgewinnung ausgestattet. Die Abwärme wird zur Erzeugung von Sattedampf eingesetzt, der anschließend in das Dampfnetz eingespeist und für die Beheizung der Trockenanlagen und der Produktionsräume genutzt wird.

#### *Gesamtbilanz der Anlage*

Input		Output	
Rohstoffe			
Papier	12.000 t	Fertigmaterial / Endprodukt	15.500 t
Kunststoff (PE / PP)	5.000 t		
Silikon (Lieferform überwiegend lösemit- telverdünnt - ohne Be- rücksichtigung von dif- ferierenden Festkörper- gehalten)	200 t		
Spezialbenzin	1.000 t		
Druckfarben / Lacke	300 t		
Hilfsstoffe	450 t		
Abfälle			
		Verbundabfälle	2.200 t
		Kunststoffabfälle (recyclefähig)	500 t
		Papierabfälle (recyclefähig)	100 t
		gefährlicher Abfall	50 t

Energie			
Strom	10.000 MWh		
Gas	9.500 MWh		
Dampf *	16.000 MWh		
		Dampf (Wärmerückgewinnung - TNV) **	6.500 MWh
		Gesamt - C aus gefassten Emissionen	2.600 kg/a <sup>+</sup>
		Stickstoffoxide NO <sub>x</sub>	30.300 kg/a <sup>++</sup>
		Kohlenmonoxid CO	20.500 kg/a <sup>+++</sup>

\* Gesamtmenge Dampf, der für die Beheizung der Trockenkanäle und der Produktionsräume erforderlich ist

\*\* Anteil des Dampfes der durch Wärmerückgewinnung in das bestehende Dampfnetz eingespeist wird:  
Seit November 2000 wird die Gesamtmenge des benötigten Dampfes durch Wärmerückgewinnung erzeugt.

<sup>+</sup> entspricht 0,53 kg/h Gesamt-C

<sup>++</sup> entspricht 6,31 kg/h Stickstoffoxide

<sup>+++</sup> entspricht 4,28 kg/h Kohlenmonoxid

Tabelle 8-1 Gesamtbilanz der Anlage 1 zur Kunststoff- und Siliconbeschichtung von Papier

### Wichtige Emissionen aus dem Produktionsprozess

Emissionen	Fracht [kg/a]	Konzentration [mg/m <sup>3</sup> ]
Gesamt - C aus gefassten Emissionen	2.600	5
Stickstoffoxide NO <sub>x</sub>	30.300	60
Kohlenmonoxid CO	20.500	40

Tabelle 8-2 wichtige Emissionen Anlage 1

### Wichtige Abfallmengen und Verwertungswege

Abfallart	Menge [t/a]	Verwertung/Beseitigung
Verbundabfälle	2.200 t	Verwertung als Sekundärbrennstoff (Zementindustrie)
Kunststoffabfälle (recyclefähig)	500 t	Recycling (Regranulierung) durch Kunststoffindustrie
Papierabfälle (recyclefähig)	100 t	Recycling durch Papierindustrie
gefährlicher Abfall	50 t	Beseitigung durch Verbrennung

Tabelle 8-3 Abfälle und Verwertungswege Anlage 1

## Anlage 2 (Imprägnierung von Papier)

Die Anlage 2 stellt eine Anlage zur Imprägnierung von Papier dar. Das verarbeitete Papier wird zum größten Teil auf einer Papiermaschine im Werk hergestellt. Die Papierimprägnierung erfolgt offline. Die Imprägnier-Anlage besteht aus 2 Papierimprägniermaschinen (Papierbreite: 1.580 mm, Geschwindigkeit 100 m/s). Die Anlage ist mit einer Lösemittelrückgewinnung sowie einer thermischen Nachverbrennung ausgestattet.

### Gesamtbilanz Anlage 2

Input (2000)		Output	
Rohstoffe			
Papier		Produkt	
Rohpapier	13.715,7 t	imprägniertes Papier	17.329,9 t
Lösemittel			
Methanol	9030 t	Methanol aus Rückge- winnung	8833 t
		ungefasste Emissionen	* siehe Tabelle 8-5
		gesamt C aus gefassten Emissionen	6.825 kg/a max. 45 mg/m³+ 2.169 kg/a aus Nachverbrennung
		NO <sub>x</sub>	NO2 9.550 kg/a max. 60 mg/m³
Hilfsstoffe			
Epoxidharz	658 t	gefährliche Abfälle	
Phenolharz	1658 t	Harzrückstände	32 t
Flammschutzmittel auf Stickstoff-Phosphor Basis	370 t	Regenerationsmethanol	14 t
		Papierfarbenreste	40 t
		Aktivkohle ABR	0,2 t
Energie 2001			
therm. Nachverbren- nung	9.516.672 KWh		
Imprägnieranlage			

Tabelle 8-4 Gesamtbilanz der Anlage 2 - Imprägnierung von Papier

### wichtige Emissionen aus dem Produktionsprozess

Emissionen	Fracht [kg/a]	Konzentration [mg/m <sup>3</sup> ]
Phenol *	2321	4,9
Methanol *	8054	23,6
Formaldehyd *	3891	11,4
Diethylamin *	3	0,01
Gesamt C	6825	20
Gesamt C TNV	2169	13,63

Tabelle 8-5 wichtige Emissionen Anlage 2 - Imprägnierung von Papier

### wichtige Abfallmengen und Verwertungswege

sonstige Abfallart	Menge [t/a]	Verwertung/Beseitigung
Imprägnierter Papierabfall	2300 t	energetische Verwertung

### Methanolrückgewinnung durch Abgasreinigungsanlage in 2000

Methanol durch Destillationskolonne zurückgewonnen	8.833 t
davon intern wieder verbraucht	8.644 t
davon extern verkauft	189 t

Tabelle 8-6 Abfälle und Verwertungswege Anlage 2 - Imprägnierung von Papier

## **8.4. Ermittlung der BVT-Kandidaten**

### **8.4.1. Luftemission**

Durch eine geeignete Reinigungstechnik (Thermische Nachverbrennung mit Energierückgewinnung als BVT-Kandidat) der lösemittelbeladenen Abgase werden die genehmigungsrechtlichen Emissionsgrenzwerte unterschritten.

Grundsätzlich kann unter dem Gesichtspunkt Ressourcenschonung auch eine Lösemittelrückgewinnungsanlage als BVT-Kandidat angesehen werden. Es ist jedoch zu beachten, dass diese Technologie beispielsweise bei der Papierbeschichtung durch Silikone nicht unter wirtschaftlich zumutbaren Verhältnissen verfügbar ist, so dass eine generelle Eignung des BVT-Kandidaten nicht gegeben ist.

### **8.4.2. Wasseremission**

Wasseremissionen spielen bei der Beschichtung und Imprägnierung von Papieren keine Rolle.

### **8.4.3. Abfall**

Durch die Auswahl der Rohstoffe und eine klare Trennung der Reststoffe während der Verarbeitung, können wichtige Abfallströme verwertet werden. Spezielle BVT-Kandidaten zur Abfallvermeidung bzw. -verwertung sind aufgrund der Heterogenität der Prozesse nicht verfügbar.

### **8.4.4. Energie**

Die bei der Verbrennung entstehende Abwärme wird zur Erzeugung von Sattedampf eingesetzt (BVT-Kandidat: Abwärmenutzungssysteme). Der entstehende Dampf wird in das bestehende Dampfnetz eingespeist und für die Beheizung der Trockenanlagen und der Produktionsräume genutzt.

### **8.4.5. Risiko**

BVT-Kandidaten sind:

- Geeignete Brandschutzvorkehrungen, wie z.B. wie CO<sub>2</sub>-Löscheinrichtungen, Ex-Schutz-Vorrichtungen
- Löschwasserrückhaltung

## 8.5. Auswahl und Empfehlungen bezüglich bester verfügbarer

### Techniken

Eine überschlägige Bewertung der BVT-Kandidaten liefert folgendes Bild, bei dem ↓ eine sinkende und ↑ eine steigende Umweltbelastung bedeutet. Zahlen in der Klammer (1) bei der Kosten/Nutzen Relation bedeutet eine Differenzierungsnotwendigkeit mit nachfolgendem Kommentar, "ok" bedeutet, dass die Technik gemäß IVU Richtlinie als verfügbar angesehen werden kann.

Techniken	L	A	W	E	R	Lärm	Risiko	Kosten/ Nutzen Relation
Einsatz TNV mit Wärmerückgewinnung	↓							ok
Lösemittelrückgewinnungsanlage (nicht generell einsetzbar)	↓				↓			ok
Abwärmenutzungssysteme				↓	↓			ok
Brandschutzvorkehrungen							↓	ok
Löschwasserrückhaltung							↓	ok

L = Luft; A = Abfall; W = Wasser; E = Energie; R = Ressourcen

Tabelle 8-7 Überschlägige Bewertung der BVT-Kandidaten - Papierbeschichtung

Aufgrund der Heterogenität der verschiedenen Papierbeschichtungsprozesse und der davon betroffenen kleinen Zahl an Unternehmen, die die Mengenschwelle der IVU-Richtlinie überschreiten, erscheint es fraglich, ob der Bereich Papierbeschichtung in einem BVT-Merkblatt separat abgehandelt werden sollte.

Sollte sich bei den Verhandlungen in Sevilla eine explizite Aufnahme der Papierbeschichtung in ein BVT-Merkblatt ergeben, so wäre als BVT-Kandidat der Einsatz einer TNV- oder RNV-Anlage sowie die Verwendung von Abwärmenutzungssystemen empfehlenswert. Als anwendungsspezifische und nicht generelle BVT könnte eine Lösemittelrückgewinnungsanlage aufgenommen werden.

## 8.6. Neue fortschrittliche Verfahren

Hierzu sind aufgrund der kleinen Zahl an Unternehmen und der Heterogenität der verschiedenen Papierbeschichtungen keine Angaben verfügbar.

## Sollvorgaben aus Regelwerken

Industrieanlagen zur Herstellung von Papier und Pappe, deren Produktionskapazität 20 t pro Tag übersteigt stellen IVU-relevante Anlagen im Sinne von Anhang I, Punkt 6.1 Buchstabe b) der IVU-Richtlinie dar.

Die Beschichtung von Papier fällt als Beschichtungstätigkeit ("jede Tätigkeit zur Veredelung von Folien- oder Papieroberflächen durch Beschichten sowie durch Imprägnieren oder Appretieren) unter die relevanten Tätigkeiten gemäß Anhang II der 31. BImSchV.

Für Beschichtungstätigkeiten sind in Anhang I und III unter Punkt 10.2 folgende Schwellenwerte und Emissionsgrenzwerte vorgesehen:

	<b>Tätigkeit</b>	<b>Emissionsgrenzwert für gefasste behandelte Abgase [mg C/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Grenzwert für diffuse Emissionen<sup>3)</sup> [in % der eingesetzten Lösemittel]</b>
10.2	Anlagen zum Beschichten von Folien- oder Papieroberflächen	50 <sup>1)</sup> 20 <sup>1), 2)</sup>	10

1) für Beschichten und Trocknen

2) bei Anwendung von Abgasreinigungseinrichtungen mit thermischer Nachverbrennung

3) flüchtige organische Verbindungen, die in gefassten unbehandelten Abgasen enthalten sind, zählen zu den diffusen Emissionen

Tabelle 8-8 Schwellen- und Emissionsgrenzwerte gemäß 31. BImSchV

Ein Genehmigungsverfahren nach der 4. BImSchV (Spalte 1 oder 2 Nr. 6.2) ist erforderlich für

- *"Anlagen die aus einer oder mehreren Maschinen zur fabrikmäßigen Herstellung von Papier und Pappe bestehen, soweit die Bahnlänge des Papiers oder der Pappe bei einer Maschine 75 Meter oder mehr beträgt."*

sowie (Spalte 2 Nr. 6.4) für

- *"Anlagen zur Herstellung von Wellpappe"*

Für Imprägnieranlagen ist ein Genehmigungsverfahren nach der 4. BImSchV. (Spalte 1 Nr. 5.1) erforderlich.



Aus Papiermaschinen werden zusammen neben Wasserdampf auch geringe Mengen organischer Schadstoffe emittiert, die in der Summe ( $C_{\text{gesamt}}$ ) den Wert  $20 \text{ mg/Nm}^3$  nicht überschreitet.

Bei der Emission geruchsintensiver Stoffe ist in der Papierherstellung ggf. die TA-Luft zu beachten.



## 9. Untersuchte, aber nicht IVU-relevante Bereiche

### 9.1. Tränken und Imprägnieren in der Holzindustrie

In der nachfolgenden Abbildung sind die wesentlichen Verfahren zur Holzimprägnierung gegenübergestellt.

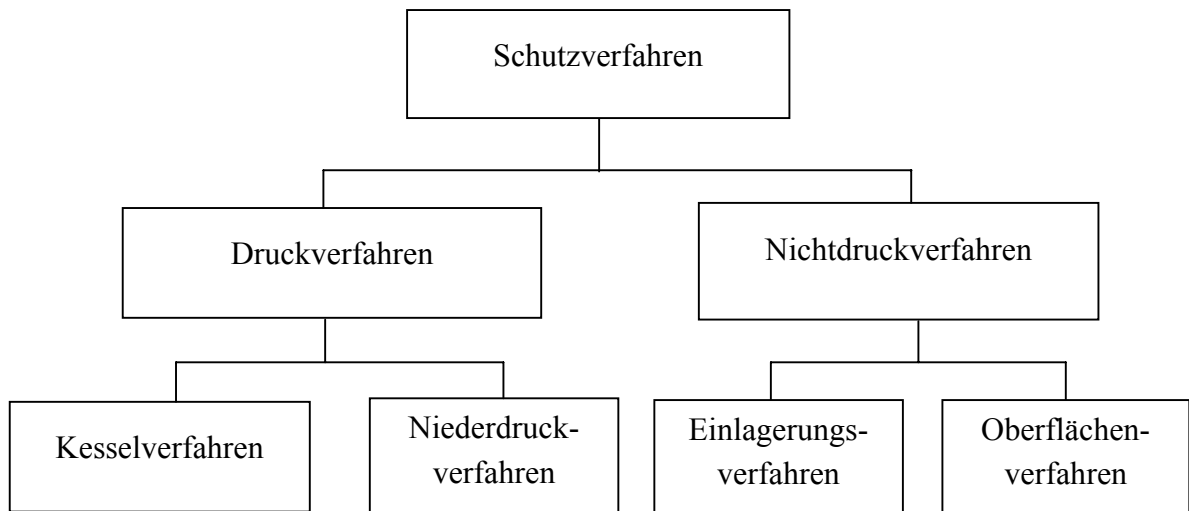


Abbildung 9-1 Übersicht über die Holzschutzverfahren

Zu allen 4 Hauptgruppen gibt es eine große Anzahl an Einzelverfahren. Die Grenze zwischen Imprägnieren und Tränken ist fließend, eine Unterscheidung liefert für die Praxis keine Vorteile.

In Europa wurden 1998 rund 6,5 Millionen m<sup>3</sup> imprägnierter Hölzer hergestellt, von denen

- 71% mit wässrigen Mitteln
- 18% mit lösemittelhaltigen Mitteln (Lösungsmittelgehalt ca. 90%)
- 11% mit Teerölen [Lit. 14]. (Lösungsmittelgehalt ca. 20%)

imprägniert wurden. Nach Herstellerangaben haben Skandinavien und Deutschland die größte Bedeutung bei der Verarbeitung von wässrigen Produkten, während England beim Einsatz von lösemittelhaltigen Produkten in Europa führend ist.

Insgesamt gibt es in Deutschland rund 70 Betriebe, die sich mit der großtechnischen Imprägnierung im Bereich Garten-, Landschafts- und Siedlungsbau beschäftigen.

Nach Informationen des Deutschen Holzschutzverbandes gibt es davon weniger als 20 Betriebe, die lösemittelhaltige Holzschutzmittel in "Doppel-Vakuum-Anlagen" einsetzen. Der Jahresverbrauch liegt etwa bei 300 t, was einem Gesamteinsatz von ca. 270 t Lösungsmittel entspricht.

Die Zahl der Betriebe, die in Deutschland Teeröle einsetzen, dürfte bei 30 – 40 liegen. In der Summe beträgt der Verbrauch an Teerölprodukten etwa 6.000 t pro Jahr, bei einem durchschnittlichen Lösemittelanteil von 20% entspricht dies 1.200 t. Die größte derzeit bekannte Einzelanwendung in Deutschland hat eine Durchsatzleistung von nur 70 t Lösungsmittel pro Jahr.

Es ist somit nicht damit zu rechnen, dass der Bereich Tränken und Imprägnieren in der Holzindustrie unter die IVU-Richtlinie fällt.

## 9.2. Tränken und Imprägnieren in der Dämmstoffindustrie

Jährlich werden in Deutschland etwa 30 Millionen Kubikmeter Dämmstoffe verbaut. Gut 60 Prozent hiervon sind Mineralwollen (Stein- und Glaswolle). Ein Drittel entfällt auf Dämmstoffe aus Polystyrol (PS). Dämmstoffe aus Polyurethan (PUR) haben einen Anteil von etwa vier Prozent, auf Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen (Zellulose, Holz, Baumwolle, Schafwolle...) entfallen drei Prozent der abgesetzten Menge.<sup>14</sup>

Das Einbringen von Hydrophobier- oder sonstiger Schutzmittel könnte grundsätzlich ein Tränken im Sinne der IVU-Richtlinie darstellen, ebenso wie das Aufbringen von Klebstoffschichten bei der Herstellung von „selbstklebenden“ Dämmstoffplatten ein Beschichten im Sinne dieser Richtlinie darstellen könnte.

Nach übereinstimmenden Aussagen sowohl von Verbänden und Herstellern als auch von Chemikalienlieferanten und sonstigen Experten werden jedoch bei der Herstellung von Mineralwollprodukten keine lösemittelhaltigen Hydrophobier- und Klebemittel eingesetzt. Auf Hydrophobiermittel wird vielmehr generell verzichtet, da Mineralwolle im Außeneinsatz ohnehin noch baustellenseitig mit einem Schutzanstrich und/oder Verputz versehen wird. Als Klebstoffe bei der Plattenherstellung werden in der Regel lösemittelfreie Pulverkleber verwendet. Lediglich beim Verkleben fertiger Dämmstoffplatten auf der Baustelle können lösemittelhaltige Klebstoffe eingesetzt werden.

Bei Polystyrol ist der Einsatz von organischen Lösemitteln aus chemischer Sicht nicht sinnvoll, da Polystyrol gegen die meisten organischen Lösemittel nicht beständig ist.

Auch bei der Herstellung von Polyurethan-Dämmstoffen werden nach Hersteller- und Chemikalienlieferantenangaben keine lösemittelhaltigen Produkte eingesetzt.

Für Produkte aus Kork könnten nach dem gegenwärtigen Informationsstand im geringen Umfang lösemittelhaltige Hydrophobiermittel eingesetzt werden, es ist jedoch nicht davon auszugehen, dass dabei die Mengenschwellen der IVU-Richtlinie erreicht werden.

Damit folgt als Fazit, dass der Bereich Tränken und Imprägnieren in der Dämmstoffindustrie nicht die Mengenschwellen der IVU-Richtlinie erreicht.

---

<sup>14</sup> Quelle: Greenpeace Deutschland

### 9.3. Tränken elektronischer Bauteile (Elektroindustrie)

In der Elektro- und Elektronikindustrie werden organische Lösemittel beim Tränken bzw. Imprägnieren von elektrischen und elektronischen Bauteilen eingesetzt. Tränkeharze oder -lacke werden dabei u.a. zur Verfestigung von Drahtlagen und Wicklungen (z.B. von Motoren oder Statoren) eingesetzt. Sie füllen verbliebene Hohlräume, sorgen beim Betrieb auch für das Ableiten von Wärme und haben zudem eine isolierende Wirkung. In Deutschland werden jährlich mehr als 5.000 t Tränkmittel eingesetzt.

Das Tränken in der Elektro- und Elektronikindustrie betrifft eine Vielzahl von zum Teil sehr unterschiedlichen Produkten, so dass es weder möglich ist, typische Produkte zu kennzeichnen noch einen Anteil deutscher Anlagen im europäischen Markt anzugeben.

Lösemittel bei Tränkmittel:

- Styrol
- Vinyltoluol
- Diallylphthalat (DAP)
- Wasser

Die eingesetzten Verdünnungen enthalten u.a. folgende Lösemittel:

- Xylol
- Butanol

Nach Gesprächen mit dem ZVEI<sup>15</sup>, betroffener Unternehmen und Herstellern ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht davon auszugehen, dass die zum Tränken verwendeten Anlagen eine Verbrauchskapazität von mehr als 200 t/a aufweisen. Das Verfahren wird in einer Vielzahl von kleinen Anlagen angewendet.

---

<sup>15</sup> Zentralverband der Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.

## 9.4. Beschichten in der Holzindustrie

### Laminatbodenherstellung

Laminatböden sind mit Oberflächenbeschichtungen versehene Holzwerkstoffe, die als Fußbodenbeläge in Innenräumen verwendet werden. Bei den Beschichtungen handelt es sich um verschleißfeste Materialien, die bei Küchen- und Labormöbeln, bei Büroausstattungen sowie im Ladenbau breite Anwendung finden. Hierbei handelt es sich vielfach um Einsatzbereiche mit hohen hygienischen Anforderungen. Die Eigenschaften der Beschichtungsmaterialien und Trägerwerkstoffe sind in verschiedenen deutschen und europäischen Normen festgelegt.

Die eingesetzten Klebstoffe und Beschichtungsmaterialien für die Herstellung der Laminatböden werden auf Wasserbasis hergestellt. Sie enthalten im vorkondensierten Zustand als einzige flüchtige organische Verbindung Formaldehyd bzw. bei Schichtstoffplatten auch Phenol. Organische Lösemittel sind in diesen Systemen nicht enthalten. Holzschutzmittel werden weder den Span- und Faserplatten noch den Beschichtungsstoffen zugesetzt. Für die Aushärtung der Bindemittel werden heute praktisch nur noch chloridfreie Systeme verwendet. Auch Kunststoffe auf PVC-Basis finden bei der Herstellung der Fußbodenlamine keine Anwendung [Lit. 13].

### Dekorplattenherstellung

Die Beschichtung von Holzwerkstoffplatten (Spanplatten) mit dekorativen Platten kann auf zwei Arten erfolgen:

- a) Durch Aufleimen einer aus mehreren imprägnierten Papierlagen gepressten dekorativen Schichtstoffplatte
- b) Durch direktes Aufpressen der imprägnierten Papierlagen auf die Trägerplatte.

Zur Tränkung der Papierlagen mit Phenolharzen wird üblicherweise Natronkraftpapier mit einem Flächengewicht von 80 oder 150 g/m<sup>2</sup> eingesetzt. Die Tränkung erfolgt in einer Imprägniermaschine mit anschließendem Trockenkanal, wobei folgende Arten von Hochdruck-Schichtpressstoffplatten unterschieden werden:

Typ N normale Qualität für allgemeine Anwendung

Typ P Postforming-Qualität, d.h. bei bestimmter Temperatur und bestimmten Druck nachverformbar.

Typ F wie Typ N, aber mit erhöhter Widerstandsfähigkeit gegenüber Flammeneinwirkung

Typ C Kompaktschichtpressstoff, Dicke bis ca. 5 mm

Typ CF wie Typ C, aber mit erhöhter Widerstandsfähigkeit gegenüber Flammeneinwirkung

Während für die P-Qualität spezielle Melamin- und Phenolharze angewendet werden müssen erzielt man die F-Qualität meist durch vorherige Imprägnierung des Papiers mit Flammschutzmitteln.

Nach allen bisherigen Hersteller- und Expertenaussagen kommen auch hier keine organischen Lösemittel in irgendeiner Form zum Einsatz.

### **Herstellung von Holzwerkstoffplatten**

Das Herstellen von Holzwerkwerkstoffen („Span- und Faserplatten“) könnte ein Tränken im Sinne der IVU-Richtlinie darstellen, bei dem in der Vergangenheit auch lösemittelhaltige Produkte eingesetzt wurden.

Nach übereinstimmenden Aussagen aller bisher befragter Hersteller und Experten werden mittlerweile jedoch weder beim Herstellen von kunstharzgebundenen Holzwerkstoffen (Schichtplatten, Furniersperrholzplatten, OSB-Flachpressplatten, Spanplatten, Faserplatten) noch von mineralisch gebundenen Holzwerkstoffen (Gips- oder Zementgebundene Faserplatten sowie Holzwolle-Leichtbauplatten) lösemittelhaltige Bindemittel verwendet. Zum Einsatz kommen vielmehr Harnstoff-Formaldehydharze (UF), Melamin-Formaldehydharze (MF), modifizierte Melamin-Formaldehydharze (MUF und MUPF), Phenol-Formaldehydharze (PF), Phenolresorcin-Formaldehydharze (PRF) und polymere Diphenylurethan-Diisocyanaten (PMDI), die jedoch in IVU-relevantem Maßstab weder organische Lösemittel enthalten noch mit solchen verarbeitet werden.



## **9.5. Beschichten von Leiterplatten (Elektronikindustrie)**

### **9.5.1. Allgemeine Information**

Leiterplatten werden sowohl von ausschließlich damit befassten Unternehmen (Elektronikindustrie) als auch von solchen Unternehmen hergestellt, die diese in weitere Produkte einbauen (In-House-Produktion) und daher unterschiedlichen Branchen zuzurechnen sind. Daher ist die Quantifizierung der Produktion sowohl mengen- als auch wertmäßig schwierig. Der Fachverband Bauelemente im ZVEI (Zentralverband der Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.) beziffert für 1999 den Anteil der deutschen Leiterplattenherstellung am Weltmarkt mit 5% und einem Wert von ca. 1,5 Mrd. Euro. Der Anteil am europäischen Markt wird mit knapp unter 25% eingeschätzt.

Die wichtigsten Einsatzgebiete für Leiterplatten in Deutschland sind die Industrieelektronik (ca. 30 %), die Telekommunikation und die KfZ-Elektronik (je knapp über 20 %).

### **Charakterisierung des Produktes "Leiterplatte"**

Leiterplatten bestehen aus einem elektrisch isolierenden Trägermaterial, auf dem sich leitende Strukturen zur elektrischen Verbindung von diskreten und integrierten Bauelementen befinden. Sie dienen zum Aufbau einer komplexen Schaltung aus vielen Bauelementen. Aufgrund der unterschiedlichen Qualitätsanforderungen gibt es eine Vielzahl an Basismaterialtypen, die sich durch das verwendete Trägermaterial und das verwendete Harz unterscheiden.

Man kann die Leiterplatten nach unterschiedlichsten Kriterien einteilen. Für die Beurteilung der Relevanz der IVU-Richtlinie bietet sich eine Einteilung nach den wichtigsten Parametern der konstruktiven Aufbautechnik an, da damit grundlegende Herstellungsunterschiede verbunden sind.

- einseitige Leiterplatten
- doppelseitige Leiterplatten mit Durchkontaktierung <sup>16</sup>
- mehrlagige Leiterplatten, (Multilayer)

Starre einseitige Leiterplatten stellen den einfachsten Typ von Schaltungsträgern dar. Sie bestehen aus einem Trägermaterial, das einseitig ein strukturiertes Leiterbild aus Kupfer enthält. Die Bauelemente stecken in Bohrlochgruppen in der Leiterplatte und

---

<sup>16</sup> Doppelseitige Leiterplatten ohne Durchkontaktierung werden nicht betrachtet, da das Produktionsvolumen lt. Gasch, 1995 (zitiert in Achternbosch, Brune 1996) als gering eingeschätzt wurde.

werden auf der (anderen) Schaltungsseite angelötet. Sie finden Anwendung in der Konsumelektronik (einfache Fernseh- und Radiogeräte, Spielzeug etc.) sowie in den Haushaltselektrogeräten.

Bei doppelseitigen Leiterplatten mit Durchkontaktierung kann die Zahl der möglichen Bauelemente auf der Platine wesentlich erhöht werden. Die Löcher zur Aufnahme der Bauelemente werden verkupfert, um leitende Verbindungen zwischen den beiden Leiterbahnebenen zu erhalten. Verwendet werden doppelseitig durchkontaktierte Leiterplatten in der Unterhaltungselektronik, Medizintechnik, in Rechnern und anderen Elektronikgeräten.

Viele Anforderungen in der heutigen Mikroelektronik können mit zwei Leiterbahnebenen nicht mehr erfüllt werden. Hohe Packungsdichten von Bauteilen, hohe Leiterzugdichten und raumsparende Funktionseinheiten werden mit Mehrlagen-Leiterplatten (Multilayer) erreicht.

Weitere Unterteilungen ergeben sich z.B. nach der Flexibilität des Trägermaterials (starr, flexibel und starr-flexibel) oder der Art der Bestückung. Man unterscheidet die Bestückung mit bedrahteten Bauelementen (insertion mount devices, IMDs) und oberflächenmontierten Bauelementen (surface mount devices, SMDs).

Die zweidimensionale Ausführung der konventionellen Leiterplatte beschränkt die konstruktive Anwendungsmöglichkeit. Der Trend, in immer kleiner werdenden Gehäusevolumina ein Maximum an Funktionen unterzubringen, führt zu dreidimensionalen Leiterplatten (moulded interconnection devices, MIDs).

### **9.5.2. Angewandte Verfahren und Techniken**

Die wichtigsten Verfahrensschritte bzw. Prozessstufen, die je nach Verfahren an unterschiedlichen Stellen angewandt werden sind:

- Reinigungsvorgänge (zwischen vielen Einzelschritten)
- Die Konfektionierung des Ausgangsmaterials und Erstellung des Lochbildes
- Die Erstellung der Leiterbahnen wobei zwei wesentliche Verfahrensgruppen unterschieden werden können (Hummel 1985):
  - Entfernung nicht benötigter Kupferteile (Subtraktivverfahren) bei Einsatz von mit Kupfer vorkaschierten Trägern.
  - Aufbringen der Leiterbahnen auf unkaschierte Träger (Additivverfahren)

- Aufbringen von Lötstoppmasken
- Aufbringen von Informationen auf der Leiterplatte (Bedrucken)

Die folgende Detaildarstellung konzentriert sich auf lösungsmittelrelevante Verfahrensschritte bzw. Prozessstufen. Die häufig sehr komplexen galvanotechnischen Verfahrensschritte werden lediglich der Vollständigkeit halber erwähnt bzw. in der jeweiligen Verfahrensübersicht angeführt. Die für die Verfahrensbeschreibungen wichtigste Literatur ist Achternbosch, Brune 1996. Andere Literaturstellen sind jeweils gesondert zitiert.

### Verfahrensübersicht zur Herstellung einseitiger Leiterplatten

Diese werden überwiegend nach dem sogenannten *Print and Etch-Verfahren* hergestellt. Der schematische Verfahrensablauf ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

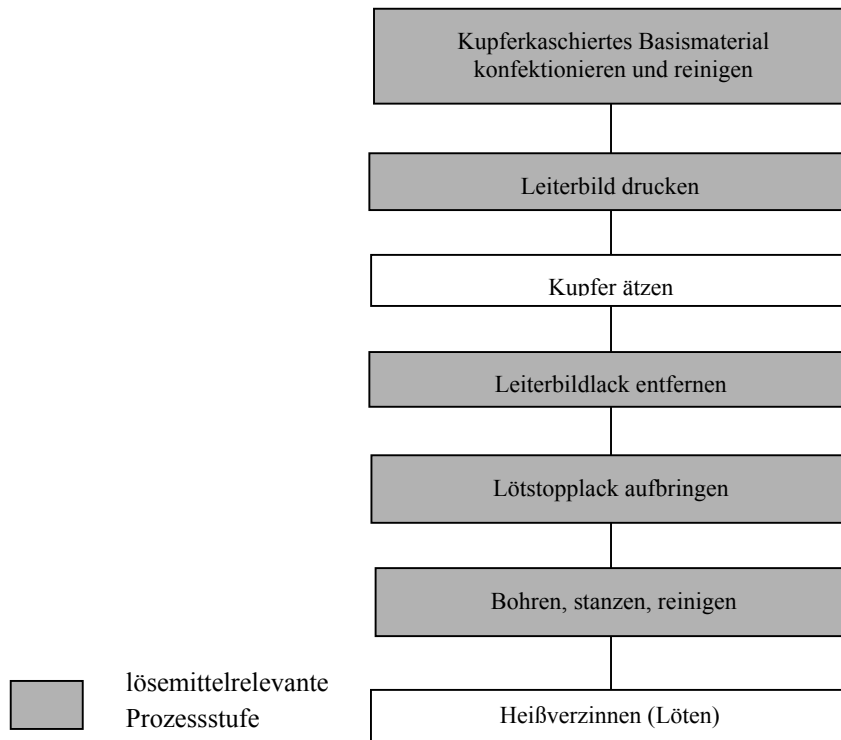


Abbildung 9-2 Schematischer Verfahrensverlauf der Herstellung einseitiger Leiterplatten; Beschränkung auf die wichtigsten Prozessschritte.

Die kupferkaschierten Trägermaterialien werden zuerst durch Stanzen, Fräsen oder Sägen auf Arbeitsformatgröße zugeschnitten. Nach einem Spülschritt wird die Kupferoberfläche für den Leiterbildaufbau vorbereitet.

Nach einer Vorreinigung erfolgt der Aufbau eines Leiterbildes. Eine Lackmaske wird als Positiv aufgedruckt, d. h. die Lackmaske (Ätzresist) bildet die Leiterzüge aus. Überwiegend wird hierfür das Siebdruckverfahren eingesetzt. Es kommen auch foto-technische Verfahren zum Einsatz.

Das durch die Maske nicht geschützte Kupfer wird anschließend durch Ätzen entfernt.

Für das weitere Vorgehen wird die Maske nun nicht mehr benötigt: man löst den ätzresistenten Lack mit Hilfe eines geeigneten Entschichtungsmittels (Stripper) ab.

Das Aufbringen der Lötstopmmaske erfolgt analog zum Leiterbild. Sie lässt nur die Stellen frei, an denen Lötzinn erforderlich ist .

Die für die Montage (Bestückung) der Bauelemente erforderlichen Löcher und die Reinigung danach erfolgen im nächsten Schritt. Abschließend erfolgen das Heißverzinnen, die Bestückung und das Löten inklusive der erforderlichen Nachbehandlung.

### **Verfahren zur Herstellung von durchkontaktierten (doppelseitigen) Leiterplatten**

Zur Herstellung durchkontaktierter Leiterplatten existieren verschiedene Verfahren, die sich im wesentlichen in zwei Gruppen einteilen lassen. Man unterscheidet –wie oben erwähnt - die Subtraktiv- und Additiv-Verfahren. Die wichtigsten Verfahrensvarianten sind:

Subtraktiv-Technik: Metall- (oder selten: Organo-) Resist-Verfahren  
Tenting-Verfahren

Additiv-Technik: Semi- und Volladditiv-Verfahren

Bei der Herstellung von diesen Leiterplatten wird als Ausgangsmaterial ein doppelseitig kupferkaschiertes Basismaterial eingesetzt. Im Falle der Herstellung von durchkontaktierten Multilayern geht man von einem Multilayer-Vorprodukt mit fertigen Innenlagen aus. Die Herstellung von Multilayer-Innenlagen wird im Abschnitt 7.2.3 kurz erläutert.

### Subtraktiv-Technik

Eine Übersicht über die wesentlichen Unterschiede zwischen Metallresist – und Tenting-Technik gibt die Abbildung 9-3.

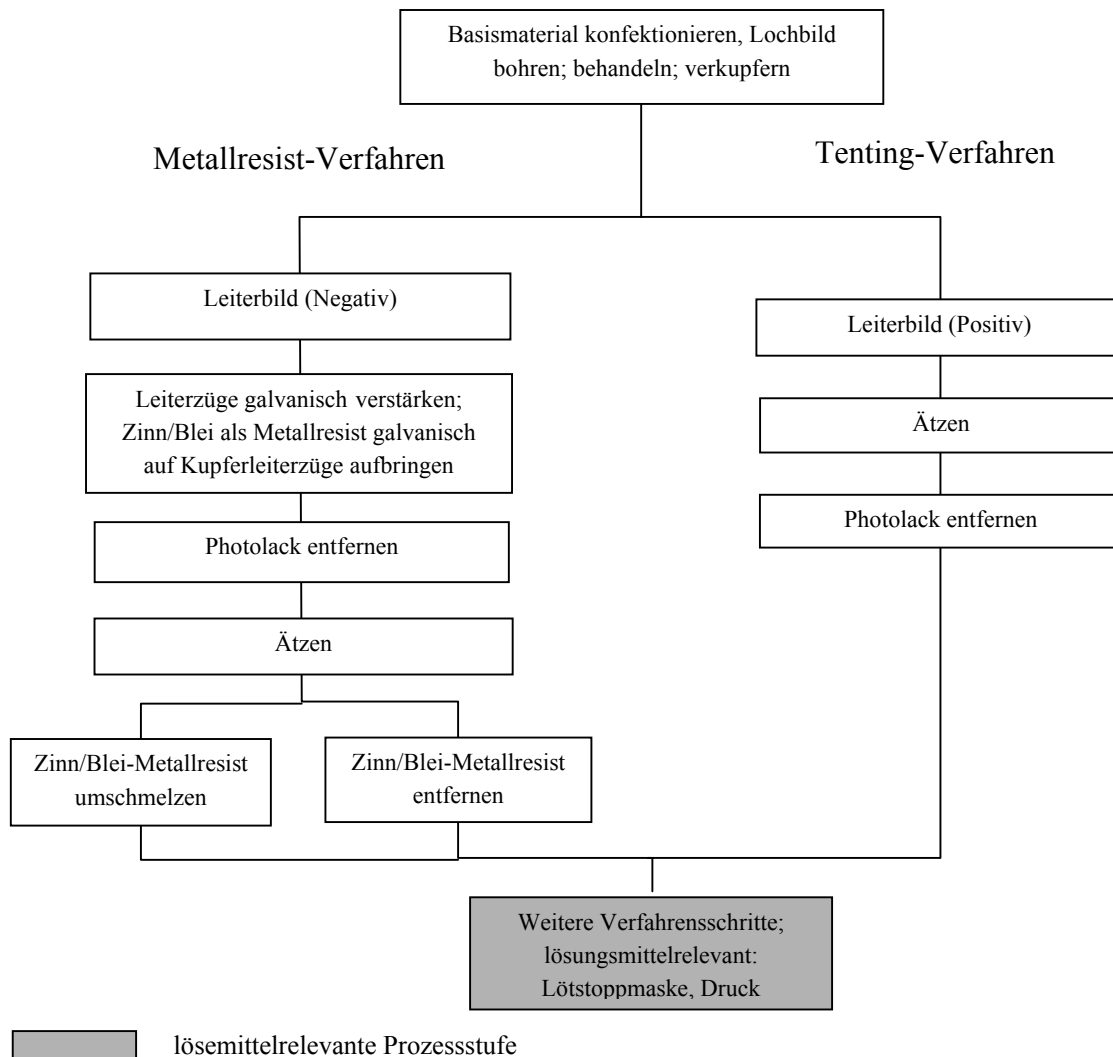


Abbildung 9-3 Schematische Darstellung der wichtigsten, unterschiedlichen Verfahrensschritte von Subtraktiv-Verfahren

Bei beiden Verfahren wird das Leiterbild überwiegend mit fotosensitiven Techniken aufgebracht, die nicht lösungsmittelrelevant sind.

Bei der Resist-Technik wird nach der Bohrlochverkupferung und Leiterbilderstellung eine ätzresistente Maske auf die Leiterzüge aufgebracht. Als Ätzschutz für die Leiterbahnen wird fast ausschließlich ein Metallüberzug (Metallresist-Technik) verwendet, der je nach Plattentyp nach dem Ätzen entfernt oder zu einer dauerhaften Schicht umgeschmolzen wird.

Die Tenting-Technik gleicht in den ersten Fertigungsschritten der Metallresist-Technik. Bei der chemischen Verkupferung der Bohrlöcher werden allerdings nur dünne Kupferschichten abgeschieden. Anschließend erfolgt eine ganzflächige galvanische Verkupferung auf Endstärke der herzustellenden Leiterzüge. Zur Leiterbilderstellung werden mit einem organischen, ätzresistenten Lack (Ätzresist) die Leiterzüge und Lötäugen wie mit einem "Zelt" (tent) überdeckt. Zum Schutz der Durchkontaktierungen muss die Maske auch die Bohrungen auf der Ober- und Unterseite überspannen. Die freien Kupferflächen werden weggeätzt und anschließend der organische Ätzschutz mit einem alkalischen Entschichtungsmittel entfernt (gestrippt).

Die weiteren Arbeitsschritte entsprechen prinzipiell den im Kap. 7.2.1 beschriebenen.

#### *Additiv-Technik*

Das Additiv-Verfahren eignet sich besonders für die Herstellung von Leiterplatten mit sehr dünnen und daher sehr vielen Leitverbindungen (hohe Leitungsdichte).

Die Additiv-Verfahren verwenden ein unkaschiertes Ausgangsprodukt, das so vorbehandelt ist, dass ein Abscheiden von Kupfer möglich ist. Die Kupfer-Leiterbahnen werden während der Verfahren überwiegend mittels fotochemischer Verfahren abgebildet und anschließend aufgebaut.

Die Semiadditiv-Technik ist der Metallresist-Technik sehr ähnlich. Unterschiede bestehen in nicht lösungsmittelrelevanten Verfahrensschritten der Vorbehandlung und im Ätzverfahren, da zunächst eine dünne Kupferschicht chemisch auf der gesamten Platte abgeschieden wird, die nach dem Auftrag des Leiterbildes galvanisch verstärkt wird. Leiterbild und chemisch abgeschiedenes Kupfer werden anschließend wieder entfernt.

Das Volladditiv-Verfahren verzichtet auf eine galvanische Kupferabscheidung, daher entfällt der Ätzvorgang. Nach dem Aufbringen des Haftvermittlers für chemische Kupferabscheidung wird das Trägermaterial konfektioniert, das Leiterbild erstellt und nach der Aktivierung des Haftvermittlers Kupfer in den Leiterbahnen in der gewünschten Schichtstärke chemisch abgeschieden. Anschließend wird die Abdeckung (Leiterbildmaske) entfernt und mit dem Aufbringen der Lötstopmmaske – wie bei den oben beschriebenen Verfahren – fortgesetzt.

## **Herstellung von Multilayern**

Multilayer werden aus doppelseitig mit Kupfer kaschierten Innenlagen, Isolierlagen (Prepregs) und Kupferfolien in der Kupferfolientechnik hergestellt. Die Außenlagen werden aus Prepregs und Kupferfolien gebildet. Zwischen den Dünnlaminaten befinden sich zur elektrischen Isolierung Prepregs. Der Materialverbund der Schichten wird durch Pressen und Nachhärten hergestellt

Innenlagen werden ähnlich dem Print and Etch-Verfahren - mit höheren Anforderungen - hergestellt, Außenlagen analog zu den im Kap. 9.5.2 beschriebenen Verfahren. Die lösungsmittelrelevanten Schritte sind somit identisch zu den bereits angeführten.

### **9.5.3. Lösemittelrelevanz**

#### **Reinigung**

Die Oberflächenreinigung findet zwischen fast allen Bearbeitungsschritten statt, wobei man grundsätzlich zwischen mechanischen und chemischen Reinigungsverfahren unterscheidet, wobei auf die mechanischen Reinigungsverfahren (meist mittels Bürst- oder Strahlmethoden) hier nicht weiter eingegangen wird.

Zur Reinigung mit Flüssigkeiten werden lösemittelarme bzw. lösemittelfreie Reinigungsverfahren (wässrig-alkalisch, halbwässrig alkoholhaltig mit oder ohne Ultraschallunterstützung) eingesetzt. Ausschließlich nach Siebdruckschritten werden fallweise organische Lösungsmittel eingesetzt.

#### **Herstellung des Trägermaterials („preg“)**

Als Trägermaterial werden in der Regel vom Zulieferer des Leiterplattenherstellers mit Spezialharz getränkte Gelege und Gewebe eingesetzt. Als Trägermaterial können Papier, Glasgewebe, Glasmatten u.a. eingesetzt werden. Als Harze werden z.B. Epoxid-, Phenol- und Polyesterharz eingesetzt. Epoxidharze enthalten keine Lösemittel, können jedoch mit Lösemittel verarbeitet werden; die Phenolharzsysteme können einen geringen Lösemittelanteil beinhalten.

Eine Herstellung von Prepregs durch den Leiterplattenhersteller selbst findet üblicherweise nicht statt und wird daher im Zuge dieses Kapitels nicht weiter bearbeitet.

## Leiterbild erstellen

Die Erstellung des Leiterbildes („Resist“) erfolgt entweder als Positiv („Ätzresist“), d.h. eine organische Abdeckung<sup>17</sup> verhindert das Wegätzen der darunter liegenden Kupferschicht oder als Negativ („Galvanoresist“), d.h. der Auftrag der Leiterbahnen erfolgt nur auf den freigelassenen Flächen.

Das Leiterbild kann in beiden Fällen mittels Siebdruck direkt aufgetragen werden. Dabei werden entweder lösungsmittelbasierende Siebdrucklacke oder UV-härtende Systeme mit Reaktivlösungsmittel (nicht relevant im Sinne der VOC-Richtlinie) eingesetzt werden. Der Lösungsmittelanteil beträgt im ersteren Fall nach Peters, 1994 von 0% - 40% (Ätzresist) bzw. 20% - 40% (Galvanoresist). Siebdruck wird nach Angaben eines Lackherstellers (zitiert in Achternbosch, Brune 1996) fast ausschließlich für das in Kap. 9.5.2 angeführte Verfahren bzw. zur Herstellung nicht durchkontaktierter Leiterplatten eingesetzt.

Als Alternative dazu können fotosensitive Schichten auf der gesamten Platte aufgetragen, die mit dem Leiterbild (oder dem Negativ) belichtet werden. Diese Abschnitte der Schicht härten durch die Belichtung (bzw. die anschließende Entwicklung, d.h. Herauslösen der nicht ausgehärteten Teile) aus. Nach der Herstellung der Leiterbahn wird die Abdeckschicht entfernt („gestrippt“).

Fotosensitive Schichten werden überwiegend als Trockenfilme („Trockenresist“) aufgebracht. Diese werden auf die Platte aufgepresst und bestehen aus drei Schichten: der Haftungsschicht, der lichtempfindlichen Schicht und einer Schutzfolie, die nach der Belichtung entfernt wird. In der lichtempfindlichen Schicht sind Monomere, also flüchtige organische Stoffe im Sinne der VOC-Richtlinie, die allerdings keine Lösungsmittel sind, enthalten.

Für die Entwicklung und das Strippen werden ausschließlich wässrige Systeme eingesetzt.

Für sehr feine Leiterstrukturen wird mittels Walzlackierung, elektrophoretischer Abscheidung oder Siebdruck eine flüssige, fotosensitive Schicht („Flüssigresist“) aufgetragen. Die Bedeutung von Lösungsmitteln bei diesen Verfahren ist als gering einzuschätzen.

---

<sup>17</sup> Metallische Abdeckungen sind nicht lösungsmittelrelevant



## Lötstopp - Beschichtungen

Im Prinzip analog zur Erstellung der Leiterbahnen dienen diese Beschichtungen zur Abbildung der Lötstellen auf der Leiterplatte. Ein Unterschied besteht darin, dass ausschließlich „Negativverfahren“ zum Einsatz kommen, d.h. es wird angestrebt, dass alle Bereiche auf der Platte, die nicht mit Lötzinn (bzw. Vorbehandlungsmaterialien zum Lötvorgang) in Berührung kommen sollen, abgedeckt werden (Korrosionsschutz, Minimierung der Lötmenge, Verhinderung von ungewollten, elektrisch leitfähigen „Brücken“ zwischen Leiterbahnen).

Ein wesentlicher, lösungsmittelrelevanter Unterschied zu den im vorigen Abschnitt eingesetzten Materialien liegt in der wesentlich höheren Temperaturbeanspruchung und daraus resultierenden anderen Einatzstoffen für Lötstopp-Beschichtungen.

Lösungsmittelrelevante Lötstopppbeschichtungen, die Lösungsmittelanteile und die Auftragsverfahren sind in der nachstehenden Tabelle zusammengefasst.

Beschichtung	Verfahren	Lsm-Gehalt [Gew.%]
2-Komponenten Lack	Siebdruck	5 - 30
1-Komponenten- Lack (fotosensitiv)	Siebdruck	20 - 40
	Gießen	35 – 65
	Spritzen	40 - 70

Tabelle 9-1 Übersicht lösungsmittelhaltige Lötstopppbeschichtungen (nach Peters, 1994)

Neben diesen Produkten werden auch - im Sinne der VOC-Richtlinie lösungsmittelfreie - UV-härtende Beschichtungen im Siebdruckverfahren eingesetzt. Fotosensitive Trockenbeschichtungen, die analog zu Trockenresists auflaminiert werden, werden insbesondere für fein strukturierte Leiterplatten eingesetzt.

Insgesamt erscheint es aufgrund der relativ geringen Mengen (nach Achternbosch, Brune 1996 für 1993 ca. 700 t Lötstopplack mit ca. 200 – 400 t Lösungsmittel) unwahrscheinlich, dass eine Anlage aufgrund der eingesetzten Lötstopplacke selbst über die Mengenschwelle der IVU-Richtlinie für den Lösungsmiteleinsatz fällt. Selbst unter Berücksichtigung der Tatsache, dass diese Mengenangabe relativ alt ist, kann angenommen werden, dass wahrscheinliche Mengensteigerungen durch Reduktion der Lösungsmittelgehalte in den Lacken kompensiert wurden.

Bei fotosensitiven Produkten wurden bzw. werden Lösungsmittel als Entwickler eingesetzt. 1993 lag der Verbrauch bei ca. 1.200 t – 1.600 t. Damals wurden nur 5% - 10% der Lötstoppmasken alkalisch entwickelt. Diese Mengen lassen angesichts der relativ vielen Herstellungsanlagen vermuten, dass durch den Entwicklungsvorgang – selbst wenn keine Steigerung des alkalischen Anteils erfolgt sein sollte – keine Anlage die Mengenschwelle der IVU-Richtlinie überschreitet. Die Datenlage ist hier allerdings kritischer als beim Lackeinsatz zu sehen.

Im Gegensatz zu Abdeckbeschichtungen zur Leiterbahnherstellung verbleiben Lötstopplacke auf der Leiterplatte.

### **Schutzlack, Servicedruck/Kennzeichendruck**

Zum Schutz vor Korrosion kann die Oberfläche einer reinen Kupferschaltung mit einem einfachen Schutzlack überzogen werden. Die Schutzlacke für unbestückte Leiterplatten werden im Tauch- oder Walzlackierverfahren mit niedrigen Viskositäten eingesetzt. Da jedoch die erforderlichen Schichtstärken im Trockenfilm sehr gering sind (ca. 10µm nach eigener Schätzung) ergibt sich bei einem angenommenen Festkörper von 30% und einer Dichte von 0,9 kg/l ein spezifischer Verbrauch von 30 t Schutzlack pro 1 Mio. m<sup>2</sup> Leiterplatten. Es ist daher extrem unwahrscheinlich, dass in einer Anlage die Mengenschwelle der IVU-Richtlinie überschritten wird.

Analog dazu sind die Mengen der im Siebdruckverfahren verarbeiteten Druckfarben bzw. Lacke für die Beschriftung und Kennzeichnung von Leiterplatten als gering und nicht relevant einzuschätzen.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1	Übersicht über Schleifmittelarten.....	20
Abbildung 3-2	Schematische Darstellung Fertigungsprozess Schleifmittel auf Unterlagen (Quelle: Werksangaben).....	31
Abbildung 4-1	Anteil der runderneuten Reifen an der Gesamtproduktion 1998, Quelle: Wirtschaftsverband der deutschen Kautschukindustrie.....	47
Abbildung 4-2	Produktionsablauf der Reifenherstellung [Lit. 6].....	51
Abbildung 4-3	Herstellung der Fertigmischung .....	52
Abbildung 4-4	Herstellungsprozess des Textilcordes.....	53
Abbildung 4-5	Herstellungsprozess des Stahlgürtels .....	54
Abbildung 4-6	Herstellungsprozess der Wulstringe .....	55
Abbildung 4-7	Herstellungsprozess der Laufflächen und Seitenteile.....	56
Abbildung 4-8	Ablaufschema der Reifenfertigstellung.....	57
Abbildung 4-9	Nachbehandlung der Reifen .....	58
Abbildung 5-1	Gewichtsmäßige Anteile der Kabelsorten am deutschen Markt, 1999, Quelle: Statistisches Bundesamt .....	72
Abbildung 5-2	Herstellungsprozess Lackdraht.....	75
Abbildung 5-3	Aufbau einer Anlage zur Herstellung von Lackdraht.....	82
Abbildung 6-1	Herstellschema Trommelbremsbeläge .....	96
Abbildung 6-2	Herstellschema Scheibenbremsbeläge.....	97
Abbildung 6-3	Herstellschema Kupplungsbeläge .....	98
Abbildung 6-4	Herstellschema Kupplungsbeläge für Automatikgetriebe.....	99
Abbildung 6-5	Anlagenkomponenten Herstellung von Bremsbelägen .....	100
Abbildung 6-6	Anlagenkomponenten zur Herstellung von Kupplungsbelägen .....	101
Abbildung 7-1	Verfahrensablauf bei der Magnetbandherstellung.....	111
Abbildung 8-1	Gewichtsmäßige Bedeutung von Spezialpapieren in Deutschland in 1999 (Quelle: Statistisches Bundesamt) .....	124
Abbildung 8-2	Verfahrensschema Papierbeschichtung .....	128

Abbildung 8-3	Verfahrensschema Kunststoff- und Silikonbeschichtung von Papier.....	129
Abbildung 8-4	Verfahrensablauf Papierimprägnierung.....	130
Abbildung 9-1	Übersicht über die Holzschutzverfahren .....	141
Abbildung 9-2	Schematischer Verfahrensverlauf der Herstellung einseitiger Leiterplatten; Beschränkung auf die wichtigsten Prozessschritte.....	149
Abbildung 9-3	Schematische Darstellung der wichtigsten, unterschiedlichen Verfahrensschritte von Subtraktiv-Verfahren .....	151

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1	Emissionsgrenzwerte gemäß 31. BImSchV .....	6
Tabelle 2-2	Grenzwerte für organische Stoffe gemäß TA Luft (5.2.5) .....	8
Tabelle 2-3	Übersicht Branchen und Tätigkeiten gem. Anhang I 6.7 IVU .....	12
Tabelle 2-4	Schema qualitative Bewertung der BVT-Kandidaten .....	16
Tabelle 3-1	Produktionswerte Schleifmittelherstellung 1999 (Quelle: Verein Deutscher Schleifmittelwerke) .....	20
Tabelle 3-2	Ausgewählte Trägermaterialien für Schleifmittel auf Unterlagen .....	22
Tabelle 3-3	Als Schleifkorn eingesetzte Aluminiumoxide als Inertstoffe (typische Werte) .....	26
Tabelle 3-4	Als Schleifkorn eingesetzte Siliciumcarbide als Inertstoffe (typische Werte) .....	26
Tabelle 3-5	Lösungsmittleinsatz zugeordnet zu Produkten .....	27
Tabelle 3-6	Anlagenkomponenten und erforderliche Anlagendifferenzierung .....	35
Tabelle 3-7	Gesamtbilanz Anlage 1 - Schleifmittelproduktion .....	38
Tabelle 3-8	Gesamtbilanz Anlage 2 - Schleifmittelproduktion .....	39
Tabelle 3-9	Gesamtbilanz Anlage 3 - Schleifmittelproduktion .....	40
Tabelle 3-10	Überschlägige Bewertung der BVT-Kandidaten - Schleifmittelproduktion .....	43
Tabelle 3-11	Emissionsgrenzwerte gemäß 31. BImSchV .....	45
Tabelle 4-1	Lösungsmittelrelevanz von Teilprozesses der Reifenherstellung .....	50
Tabelle 4-2	Gesamtbilanz der Anlage - Reifenherstellung .....	61
Tabelle 4-3	Abfälle und Verwertungswege der Anlage - Reifenherstellung .....	62
Tabelle 4-4	wichtige Emissionen der Anlage - Reifenherstellung .....	62
Tabelle 4-5	Input-Output-Situation der deutschen Reifenindustrie 2000 .....	63
Tabelle 4-6	Überschlägige Bewertung der BVT-Kandidaten - Reifenherstellung .....	67
Tabelle 4-7	Schwellenwerte und Emissionsgrenzwerte gemäß 31. BImSchV .....	69

Tabelle 5-1	Entwicklung von Produktion und Lösemittelmengen bei der Beschichtung von Kupferlackdraht.....	71
Tabelle 5-2	Schematische Darstellung des Herstellungsprozesses von Lackdraht.....	74
Tabelle 5-3	Produktionsanteil von Lackdrahtarten in Deutschland 1999.....	78
Tabelle 5-4	Anlagenkomponenten - Lackdrahtproduktion.....	81
Tabelle 5-5	Gesamtbilanz einer Anlage zur Mitteldrahtherstellung.....	84
Tabelle 5-6	Gesamtbilanz einer Anlage zur Feindrahtherstellung .....	85
Tabelle 5-7	Überschlägige Bewertung der BVT-Kandidaten - Lackdrahtproduktion .....	88
Tabelle 5-8	Mögliche zukünftige Entwicklungen bzw. Visionen .....	91
Tabelle 5-9	Schwellenwerte und Emissionsgrenzwerte gemäß 31. BImSchV.....	92
Tabelle 6-1	Verfahrensschritte Bremsbeläge.....	95
Tabelle 6-2	Verfahrensschritte Kupplungsbeläge.....	95
Tabelle 6-3	Gesamtbilanz der Anlage 1 (Scheibenbremsbeläge).....	102
Tabelle 6-4	Gesamtbilanz der Anlage 2 (Trommelbremsbeläge).....	103
Tabelle 6-5	Gesamtbilanz der Anlage 3 (Kupplungsbeläge).....	104
Tabelle 6-6	Überschlägige Bewertung der BVT-Kandidaten - Reibbelagherstellung.....	106
Tabelle 6-7	Emissionsgrenzwerte gemäß 31. BImSchV .....	108
Tabelle 7-1	Verfahrensschritte bei der Magnetbandherstellung.....	110
Tabelle 7-2	Gesamtbilanz der Anlage (Magnetbandherstellung) .....	116
Tabelle 7-3	Abfälle und Verwertungswege der Anlage .....	116
Tabelle 7-4	wichtige Emissionen der Anlage .....	117
Tabelle 7-5	Überschlägige Bewertung der BVT-Kandidaten - Magnetbandherstellung .....	120
Tabelle 7-6	Schwellen- und Emissionsgrenzwerte gemäß 31. BImSchV .....	122
Tabelle 8-1	Gesamtbilanz der Anlage 1 zur Kunststoff- und Silikonbeschichtung von Papier .....	133
Tabelle 8-2	wichtige Emissionen Anlage 1 .....	133

Tabelle 8-3	Abfälle und Verwertungswege Anlage 1 .....	133
Tabelle 8-4	Gesamtbilanz der Anlage 2 - Imprägnierung von Papier .....	134
Tabelle 8-5	wichtige Emissionen Anlage 2 - Imprägnierung von Papier.....	135
Tabelle 8-6	Abfälle und Verwertungswege Anlage 2 - Imprägnierung von Papier.....	135
Tabelle 8-7	Überschlägige Bewertung der BVT-Kandidaten - Papierbeschichtung .....	137
Tabelle 8-8	Schwellen- und Emissionsgrenzwerte gemäß 31. BImSchV .....	138
Tabelle 9-1	Übersicht lösungsmittelhaltige Lötstopppbeschichtungen (nach Peters, 1994).....	155





# Literatur

- Lit. 1           Umwelterklärung 1999, Hermes Schleifmittel GmbH & Co. Standort Hamburg-Lurup
- Lit. 2           Carborundum; Schleifmittel auf Unterlage, Aufbau, Formen, Anwendung; Düsseldorf
- Lit. 3:           Wirtschaftsverband der deutschen Kautschukindustrie (wdk), Frankfurt
- Lit. 4:           "Vom Rohstoff Kautschuk zum Werkstoff Gummi", wdk report
- Lit. 5           Die Kautschukindustrie 1999, Wirtschaftsverband der deutschen Kautschukindustrie e.V.
- Lit. 6:           Umwelterklärung 2000, Pneumat Reifen GmbH
- Lit. 7:           Umwelterklärung 1999, Dunlop GmbH
- Lit. 8           Umwelterklärung 2000; Dunlop GmbH
- Lit. 9           Umwelterklärung 2000, Deutsche Goodyear GmbH
- Lit. 10:          Papier Lexikon, Lothar Götsching, Casimir Katz, Gernsbach 1999
- Lit. 11:          Achternbosch, Brune 1996
- Lit. 12:          Gasch 1994
- Lit. 13:          Wilhelm Klauditz, Institut für Holzforschung
- Lit. 14:          Western European Institute for Wood Preservation
- Lit. 15           Umwelterklärung 1999, Hermes Schleifmittel GmbH & Co.
- Lit. 16           VDP Jahresbericht 2000, Verband Deutscher Papierfabriken e.V., Mai 2000
- Lit. 17           Das Papierbuch, ECA Pulp & Paper b.v., 1999
- Lit. 18           Papierchemikalien: Daten und Fakten zum Umweltschutz, W. Baumann, B. Herberg-Liedtke, Berlin 1993
- Lit. 19           Verfahren zur Behandlung von Holz mit Holzschutzmitteln, Deutsche Gesellschaft für Holzfor-  
schung e.V. (DGfH)
- Lit. 20           Richtlinie 96/61/EG des Rates vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Ver-  
minderung der Umweltverschmutzung, Amtsblatt Nr. L 257 vom 10/10/1996 S. 0026 - 0040
- Lit. 21           Richtlinie 1999/13/EG des Rates vom 11. März 1999 über die Begrenzung von Emissionen flüchti-  
ger organischer Verbindungen, die bei bestimmten Tätigkeiten und in bestimmten Anlagen bei der  
Verwendung organischer Lösungsmittel entstehen, Amtsblatt der EG L85/1
- Lit. 22           Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 1999/13/EG über die Begrenzung von Emissionen flüch-  
tiger organischer Verbindungen, BGBl. I, Nr. 44, S. 2180
- Lit. 23           31. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Begren-  
zung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen bei der Verwendung organischer Löse-  
mittel in bestimmten Anlagen – 31. BImSchV), Art. 1 der Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie  
1999/13/EG über die Begrenzung von Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen, BGBl. I,  
Nr. 44, S. 2180
- Lit. 24           Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anlei-  
tung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft), vom 24. Juli 2002



## Anhang

### Explosionsschutz

Für alle Betriebe, in denen durch Gase oder Stäube explosionsfähige Atmosphäre entstehen kann, sind ab den 1. Juli 2003 folgende Richtlinien, die zur europaweiten Harmonisierung der Rechtsvorschriften im Bereich des Explosionsschutzes verabschiedet wurden, von zentraler Bedeutung:

- Richtlinie 94/9/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. März 1994 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen (ATEX 100 a)<sup>18</sup>
- Richtlinie 1999/92/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dez. 1999 über Mindestvorschriften zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit der Arbeitnehmer, die durch explosionsfähige Atmosphären gefährdet werden können (ATEX 137)

Beide Richtlinien müssen bis spätestens 30. Juni 2003 in nationales Recht umgesetzt werden.

Die (Produkt-)Richtlinie 94/9/EG wurde bereits am 19. Dezember 1996 mit der "Zweiten Verordnung zum Gerätesicherheitsgesetz (GSG) und zur Änderung von Verordnungen zum Gerätesicherheitsgesetz" sowie der "Verordnung über das Inverkehrbringen von Geräten und Schutzsystemen für explosionsgeschützte Bereiche – Explosionsschutzverordnung (ExVO)" in nationales Recht umgesetzt. Zugleich wurde die neue "Verordnung über elektrische Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen (ElexV)" im Dezember 1996 wirksam. Bei der neuen ElexV handelt es sich um eine reine Betriebsvorschrift, die nur für die Montage, Installation und den Betrieb von elektrischen Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen gilt.

Die Richtlinie 94/9/EG regelt das Inverkehrbringen von explosionsgeschützten Produkten und wendet sich somit primär an die Hersteller und Importeure von explosionsgeschützten Geräten und Schutzsystemen. Anlagenbetreiber, die diese Geräte und Schutzsysteme einsetzen sind von der Richtlinie ebenfalls betroffen. So muss der Anlagenbetreiber ab 1. Juli 2003 auf das Vorhandensein der erforderlichen Produktkennzeichnung achten (EG-Konformitätserklärung, evtl. Baumustererklärung gemäß ATEX 100a).

---

<sup>18</sup> Zur Erläuterung der Anwendung der Richtlinie wurde vom Ständigen Ausschuss zur Richtlinie ein umfangreicher Leitfaden (ATEX-Leitlinien) ausgearbeitet.

Die Umsetzung der Richtlinie 1999/92/EG (Betreiberrichtlinie) in deutsches Recht wurde bis jetzt noch nicht realisiert, wird jedoch in Kürze in Form einer Verordnung erfolgen. In der Richtlinie werden zunächst die Grundsätze des betrieblichen Explosionsschutzes mit folgender Rangfolge definiert.

- Vermeidung der Bildung explosionsfähiger Atmosphären, oder, falls dies aufgrund der Art der Tätigkeit nicht möglich ist (primärer Explosionsschutz)
- Vermeidung der Zündung explosionsfähiger Atmosphären und
- Abschwächung der schädlichen Auswirkungen einer Explosion, um die Gesundheit und Sicherheit der Arbeitnehmer zu gewährleisten

Weiterhin regelt die Richtlinie

- die Zoneneinteilung im Betrieb
- die Bewertung und Dokumentation der Zonen
- Mindestanforderungen für Bereiche, in denen explosionsfähige Atmosphären vorhanden sein können
- die Kennzeichnung der Zonen
- die Anfertigung eines Explosionsschutzdokumentes mit Risikobeurteilung
- die Dokumentation der Explosionsschutzmaßnahmen

Für bereits bestehende Arbeitsmittel und Arbeitsplätze gilt eine Übergangszeit von 3 Jahren (bis spätestens 1. Juli 2006).

## Explosionsschutzmaßnahmen

Die erforderlichen Explosionsschutzmaßnahmen lassen sich einteilen in

- primäre Explosionsschutzmaßnahmen (Maßnahmen, welche eine Bildung gefährlicher explosibler Atmosphäre verhindern oder einschränken)
  - Ersetzen gefährlicher Stoffe
  - Konzentrationsbegrenzung
  - Inertisierung
  - Gaswarngeräte

- sekundäre Explosionsschutzmaßnahmen (Maßnahmen, welche zu treffen sind, wenn das Auftreten gefährlicher explosibler Atmosphäre nicht oder nicht vollständig verhindert werden kann):
  - konstruktive Schutzmaßnahmen
  - Zoneneinteilung

Der Anlagenbetreiber ist nach ATEX 137 dazu verpflichtet, bei einer möglichen Explosionsgefahr den Betrieb in Zonen einzuteilen. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die Zonen sowie die in den einzelnen Zonen verwendbaren explosionsgeschützten Geräte und Schutzsystem gemäß ATEX 100a:

Zone	mit explosionsfähiger Atmosphäre	erlaubte explosionsgeschützte Geräte und Schutzsysteme (Geräte-Kategorie gemäß ATEX 100 a)
0	Bereich, in dem explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden ist	Geräte der Kategorie 1
1	Bereich, in dem sich bei Normalbetrieb gelegentlich eine explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln bilden kann	Geräte der Kategorie 1, 2
2	Bereich, in dem bei Normalbetrieb eine explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln normalerweise nicht oder aber nur kurzfristig bilden kann	Geräte der Kategorie 1, 2, 3
20	Bereich, in dem explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbaren Staub ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden ist	Geräte der Kategorie 1
21	Bereich, in dem sich bei Normalbetrieb gelegentlich eine explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbaren Staub bilden kann	Geräte der Kategorie 1, 2
22	Bereich, in dem bei Normalbetrieb eine explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbaren Staub normalerweise nicht oder aber nur kurzzeitig auftritt	Geräte der Kategorie 1, 2, 3

Sowohl auf europäischer als auch auf nationaler Ebene bestehen zusätzliche Normen und Regelungen, die zum einen eine Hilfestellung zur Beurteilung des Explosionsrisikos geben und zum anderen die erforderlichen Explosionsschutzmaßnahmen entsprechend dem Stand der Technik genauer präzisieren.

Vor allem die "Regeln für die Vermeidung der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphäre mit Beispielsammlung – Explosionsschutzregeln" (Herausgeber: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften) sind in Deutschland von besonderer Bedeutung und auf die auch in verschiedenen Gesetzen Bezug genommen wird.

Neben den Explosionsschutz-Regeln gibt es noch weitere technische Vorschriften (z.B. Unfallverhütungsvorschriften) und Normen, die die erforderlichen Explosionsschutzmaßnahmen für spezielle Bereiche festlegen. Nachfolgend sind einige wichtige Vorschriften zusammengestellt, die für die in diesem Bericht betroffenen Anlagen relevant sein können.

- Verarbeiten von Beschichtungsstoffen (VBG 23)
- Trockner für Beschichtungsstoffe (VBG 24)
- Druck und Papierverarbeitung (VBG 7i)
- Sicherheitsregeln für den Explosionsschutz an Durchlauftrocknern der Papierverarbeitung, ZH 1/19
- DIN EN 50014  
VDE 0170/0171 Teil 1: 2000-02  
Elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche – Allgemeine Bestimmungen
- DIN EN 50021  
VDE 0170/0171 Teil 16: 2000-02  
Elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche–Zündschutzart 'n'
- EN 50019  
Elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereich-Erhöhte Sicherheit 'e'

Für brennbare Flüssigkeiten sind zusätzlich die Bestimmungen der "Verordnung über Anlagen zur Lagerung, Abfüllung und Beförderung brennbarer Flüssigkeiten zu Lande (VbF)" relevant.