

Umweltbundesamt, Berlin

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

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

Teilband II  
“Bedrucken”

Endbericht

März 2003



**BiPRO**

Beratungsgesellschaft für in-  
tegrierte Problemlösungen



# Inhaltsverzeichnis

<b>1. BASISINFORMATIONEN ZUR DRUCKINDUSTRIE .....</b>	<b>8</b>
1.1    Verfahren und Techniken.....	8
1.2    Allgemeine Branchendaten.....	9
1.2.1    Der grafische Druck .....	10
1.2.2    Der Verpackungsdruck.....	11
1.2.3    Die Sonderdruckanwendungen.....	13
1.3    IVU-relevante Anlagen .....	13
1.4    Spezifische Darstellungsmethodik.....	14
<b>2. HEATSET-ROLLENOFFSETDRUCK-ANLAGEN .....</b>	<b>16</b>
2.1    Produkte & Bedruckstoffe.....	16
2.2    Druckprinzip.....	16
2.3    Druckfarben.....	17
2.4    Druckmaschinen.....	19
2.4.1    Installierte Maschinenbasis .....	19
2.4.2    Grundaufbau.....	20
2.5    VOC-Einsatz.....	20
2.5.1    Systemgrenzen für die BVT-Betrachtung.....	21
2.5.2    Hauptprozesse .....	22
2.5.3    Neben-Prozesse .....	27
2.6    Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte .....	30
2.6.1    Modell-Anlage .....	30
2.6.2    Spezifische Verbrauchs- und Emissionswerte (Haupt-Prozesse) .....	30
2.6.3    Referenz-Anlage.....	35

<b>2.7</b>	<b>BVT-Kandidaten .....</b>	<b>38</b>
2.7.1	Zusammenfassende Darstellung .....	38
2.7.2	Kurzbeschreibung der BVT-Kandidaten .....	39
2.7.3	Bewertung der BVT-Kandidaten .....	47
2.7.4	Neue fortschrittliche Verfahren .....	48
<b>3.</b>	<b>VERPACKUNGSDRUCKANLAGEN .....</b>	<b>50</b>
<b>3.1</b>	<b>Produkte &amp; Bedruckstoffe .....</b>	<b>50</b>
<b>3.2</b>	<b>Druckprinzipien .....</b>	<b>51</b>
3.2.1	Flexodruck .....	51
3.2.2	Verpackungs-Tiefdruck .....	52
<b>3.3</b>	<b>Druckfarben .....</b>	<b>53</b>
3.3.1	Farbsysteme .....	53
3.3.2	Einsatzbereiche der verschiedenen Druckfarbensysteme .....	55
<b>3.4</b>	<b>Druckmaschinen .....</b>	<b>57</b>
3.4.1	Grundaufbau .....	57
<b>3.5</b>	<b>VOC-Einsatz .....</b>	<b>59</b>
3.5.1	VOC-haltige Lösemittel und Hilfsstoffe .....	59
3.5.2	Spezifische Verbrauchsmengen .....	60
<b>3.6</b>	<b>Prozessschema und charakteristische Stoffflüsse .....</b>	<b>61</b>
3.6.1	Systemgrenzen für die BVT-Ermittlung .....	61
3.6.2	Haupt-Prozesse .....	64
3.6.3	Nebenprozesse .....	69
<b>3.7</b>	<b>Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte .....</b>	<b>73</b>
3.7.1	Modell-Anlagen .....	73
3.7.2	Spezifische Verbrauchs- und Emissionswerte (Haupt-Prozesse) .....	74
3.7.3	Referenz-Anlage .....	78
<b>3.8</b>	<b>BVT-Kandidaten .....</b>	<b>80</b>
3.8.1	Zusammenfassende Darstellung .....	80
3.8.2	Kurzbeschreibung der BVT-Kandidaten .....	81
3.8.3	Bewertung der BVT-Kandidaten .....	86

3.8.4	Neue fortschrittliche Verfahren .....	87
<b>4.</b>	<b>ILLUSTRATIONS-TIEFDRUCK .....</b>	<b>92</b>
<b>4.1</b>	<b>Produkte &amp; Bedruckstoffe.....</b>	<b>92</b>
<b>4.2</b>	<b>Druckprinzip.....</b>	<b>92</b>
<b>4.3</b>	<b>Druckfarben.....</b>	<b>92</b>
<b>4.4</b>	<b>Druckmaschinen.....</b>	<b>93</b>
4.4.1	Installierte Maschinenbasis .....	93
4.4.2	Grundaufbau.....	93
<b>4.5</b>	<b>VOC-Einsatz.....</b>	<b>94</b>
<b>4.6</b>	<b>Prozessschema und charakteristische Stoffflüsse .....</b>	<b>94</b>
4.6.1	Systemgrenzen der BVT-Betrachtung .....	94
4.6.2	Hauptprozesse .....	95
4.6.3	Nebenprozesse.....	96
<b>4.7</b>	<b>Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte.....</b>	<b>98</b>
4.7.1	Referenz-Anlage.....	98
<b>4.8</b>	<b>BVT-Kandidaten .....</b>	<b>101</b>
4.8.1	Zusammenfassende Darstellung .....	101
4.8.2	Kurzbeschreibung der BVT-Kandidaten .....	101
4.8.3	Bewertung der BVT-Kandidaten.....	104
<b>5.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>106</b>

## TABELLENVERZEICHNIS

TAB. 1: BRUTTOWERTSCHÖPFUNG NACH PRODUKTGRUPPEN.....	10
TAB. 2: FARBMENGEN UND BETRIEBSANZAHLEN IM GRAFISCHEN DRUCK.....	10
TAB. 3: GRÖßenKLASSENVERTEILUNG IM BEREICH DES GRAFISCHEN DRUCKS.....	11
TAB. 4: PRODUKTKATEGORIEN, PRODUKTIONSMENGE UND AUFTEILUNG AUF DIE DRUCKVERFAHREN IM VERPACKUNGS DRUCK .....	11
TAB. 5: FARBMENGEN UND BETRIEBSANZAHLEN IM VERPACKUNGS DRUCK .....	12
TAB. 6: REICHWEITE DER IVU-RICHTLINIE IN DER DEUTSCHEN DRUCKINDUSTRIE .....	13
TAB. 7: DURCHSCHNITTLICHE BASISREZEPTUR FÜR HEATSET-OFFSETDRUCKFARBEN ..	18
TAB. 8: FORMATKLASSEN, TYPISCHE BAHNBREITEN UND MARKTANTEILE VON HEATSET-ROLLENOFFSET-DRUCKMASCHINEN.....	19
TAB. 9: VOC-RELEVANTE EINSATZSTOFFE IM HEATSET-OFFSETDRUCK UND SPEZIFISCHE EINSATZMENGE BEZOGEN AUF FARBEINSATZ (ERHEBUNGSAJAHR 1997) ..	21
TAB. 10: TYPISCHE ERFASSUNGSGRADE VERSCHIEDENER VOC-EMISSIONEN .....	26
TAB. 11: BASISDATEN DER HEATSET-ROLLENOFFSET MODELLANLAGE .....	30
TAB. 12: PRODUKTIONSBEDINGUNGEN .....	35
TAB 13: JAHRES-INPUT-/OUTPUT BILANZ .....	35
TAB 14: ABFALL-KENNWERTE DER REFERENZANLAGE .....	36
TAB. 15: BVT-KANDIDATEN HEATSET-ROLLENOFFSETDRUCK .....	38
TAB. 16: BEWERTUNG DER BVT-KANDIDATEN FÜR DEN HEATSET- ROLLENOFFSETDRUCK .....	47
TAB. 17: ZUKÜNFTIGE BVT-KANDIDATEN HEATSET-ROLLENOFFSETDRUCK .....	48
TAB. 18: BEWERTUNG DER ZUKÜNFTIGEN BVT-KANDIDATEN FÜR DEN HEATSET- ROLLENOFFSETDRUCK .....	49
TAB. 19: GLIEDERUNG UND SPEZIFIKATIONEN VERSCHIEDENER BEDRUCKSTOFFE FÜR DIE VERPACKUNGSHERSTELLUNG.....	50
TAB. 20: AUSWAHLKRITERIEN BEI TECHNISCH GLEICHWERTIGEN DRUCKVERFAHREN...	51
TAB 21: DURCHSCHNITTLICHE BASISREZEPTUR FÜR LÖSEMITTELBASIERTE VERPACKUNGS-DRUCKFARBEN .....	54
TAB. 22: DURCHSCHNITTLICHE BASISREZEPTUR FÜR WASSERBASIERTE VERPACKUNGS DRUCKFARBEN .....	55
TAB. 23: VOC-EINSATZ IM LÖSEMITTELBASIERTEN VERPACKUNGS-DRUCK .....	59
TAB. 24: VOC-EINSATZ IM WASSERBASIERTEN VERPACKUNGS DRUCK .....	60

TAB. 25: SPEZIFISCHE VOC-EINSÄTZE IM VERPACKUNGSDRUCK .....	61
TAB. 26: DURCHSCHNITTLICHE BAHNGESCHWINDIGKEITEN.....	66
TAB. 27: DURCHSCHNITTLICHE FARBAUFTRAGSWERTE .....	66
TAB. 28: TYPISCHE FLÄCHENDECKUNGEN .....	66
TAB. 29: TYPISCHE AUSLEGUNGSWERTE FÜR DIE ABWASSERVORBEHANDLUNG IN WASSERBASIERT ARBEITENDEN VERPACKUNGSDRUCKANLAGEN.....	73
TAB. 30: BASISDATEN DER VERPACKUNGSDRUCK-MODELL-ANLAGE .....	73
TAB. 31: PRODUKTIONSBEDINGUNGEN DER VERPACKUNGSDRUCK-REFERENZANLAGE	74
TAB. 32 : SPEZ. VOC-VERBRAUCHS- UND EMISSIONSWERTE (LÖSEMITTELFahrWEISE) ...	75
TAB. 33: SPEZ. ENERGIEVERBRÄUCHE (LÖSEMITTELFahrWEISE).....	76
TAB. 34: SPEZ. STOFFVERBRÄUCHE UND ABFÄLLE (LÖSEMITTELFahrWEISE).....	76
TAB. 35: SPEZ. VOC-VERBRAUCHS- UND EMISSIONSWERTE (MISCHFAHRWEISE) .....	77
TAB. 36: SPEZ. ENERGIEVERBRÄUCHE (MISCHFAHRWEISE) .....	77
TAB. 37: SPEZ. STOFFVERBRÄUCHE UND ABFÄLLE (MISCHFAHRWEISE) .....	78
TAB 38: JAHRES -INPUT-/OUTPUT BILANZ EINER VERPACKUNGSDRUCK-ANLAGE .....	79
TAB. 39: BVT-KANDIDATEN FÜR VERPACKUNGSDRUCKANLAGEN .....	80
TAB. 40: BEWERTUNG DER BVT-KANDIDATEN FÜR VERPACKUNGSDRUCK-ANLAGEN .....	87
TABELLE 41: DURCHSCHNITTLICHE BASISREZEPTUR VON ILLUSTRATIONS- TIEFDRUCKFARBEN .....	93
ABB. 15: AUFBAU EINES TIEFDRUCKFARBWERKES.....	94
TABELLE 42: VOC-RELEVANTE EINSATZSTOFFE IM ILLUSTRATIONS-TIEFDRUCK.....	94
ABB. 16: FERTIGUNGSPROZESSE IN EINER ILLUSTRATIONSTIEFDRUCK-ANLAGE .....	95
TAB. 43: JAHRES -INPUT-/OUTPUT BILANZ EINER ILLUSTRATIONSTIEFDRUCK-ANLAGE ..	98
ABB. 17: VOC-BILANZ DER ILLUSTRATIONSTIEFDRUCK MODELLANLAGE.....	99
TAB. 44: BVT-KANDIDATEN FÜR ILLUSTRATIONSTIEFDRUCK-ANLAGEN .....	101
TAB. 45: BEWERTUNG DER BVT-KANDIDATEN FÜR ILLUSTRATIONSTIEFDRUCK-ANLAGEN .....	105

## Abbildungsverzeichnis

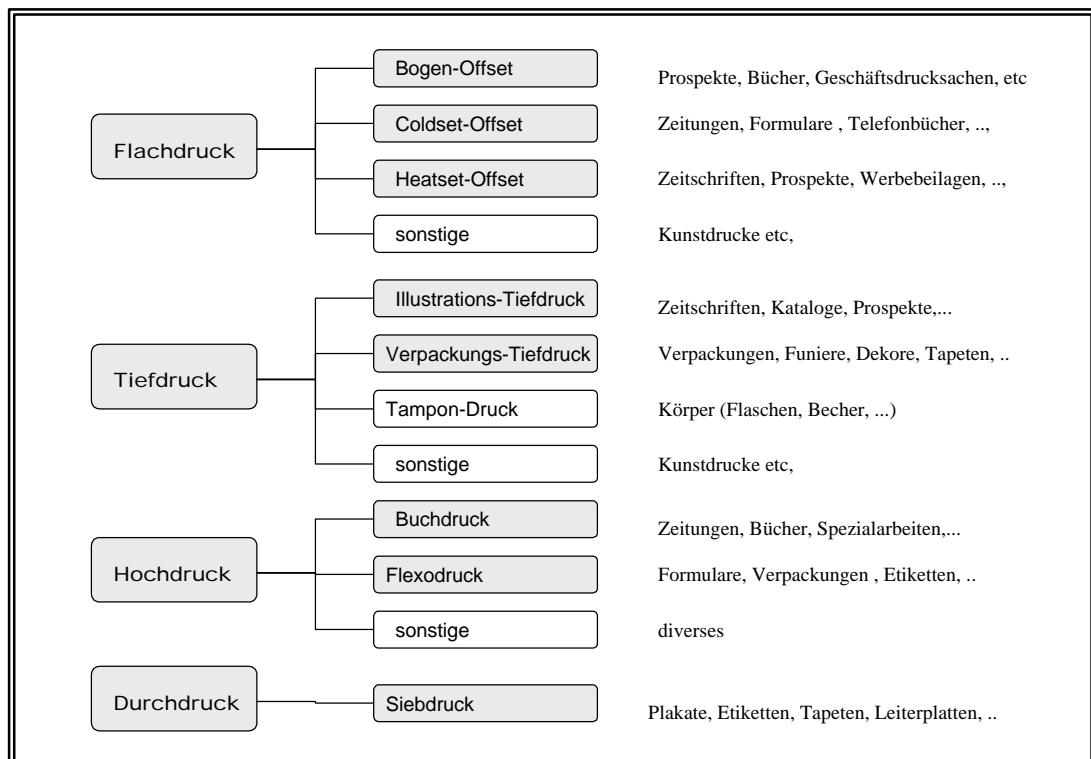
ABB. 1: HAUPTDRUCKVERFAHREN MIT VERFAHRENSVARIANTEN .....	8
ABB. 2: AUFBAU EINER OFFSETDRUCKPLATTE .....	16
ABB. 3: ANLAGENAUFBAU HEATSETOFFSETDRUCK .....	20
ABB. 4: PROZESSSCHEMA HEATSETOFFSETDRUCK-ANLAGE .....	22
ABB. 5: SPEZIFISCHE VOC-VERBRÄUCHE UND EMISSIONEN (MITTELWERTE) .....	32
ABB.6: SPEZIFISCHE STOFFEINSÄTZE UND ABFALLMENGEN (MITTELWERTE) .....	33
ABB.7: SPEZIFISCHE ENERGIEVERBÄUCHE (MITTELWERTE) .....	34
ABB. 8: VOC-BILANZ DER REFERENZ-ANLAGE .....	37
ABB. 9: AUFBAU EINES FLEXODRUCKFARBWERKES MIT KAMMERRAKEL .....	52
ABB. 10: AUFBAU DES FARBWERKES EINER VERPACKUNGSTIEFDRUCK-ANLAGE .....	53
ABB. 11: ZENTRALZYLINDER- (LINKS) UND MEHRZYLINDER – (RECHTS) DRUCKMASCHINEN .....	58
ABB. 12: REIHEN-MEHRZYLINDER VERPACKUNGSDRUCKMASCHINE .....	58
ABB. 13: PROZESSSCHEMA EINER VERPACKUNGSDRUCKEREI .....	63
ABB.14: HAUPT- UND NEBENPROZESSE IN VERPACKUNGSDRUCKANLAGEN .....	64

# 1. Basisinformationen zur Druckindustrie

## 1.1 Verfahren und Techniken

Die Drucktechnik gliedert sich in vier Hauptdruckverfahren und eine Reihe von Unterverfahren. Viele dieser Unterverfahren haben in der heutigen industriellen Produktion aufgrund der geringen Stoff- und Energieströme keine mengenrelevante Bedeutung. In der folgenden Abbildung sind diejenigen Verfahrensvarianten grau unterlegt, die für die BVT-Diskussion prinzipiell von Belang sind. Zu diesen Verfahren sind stichwortartig wesentliche in diesen Techniken hergestellte Produktgruppen aufgeführt.

Abb. 1: Hauptdruckverfahren mit Verfahrensvarianten



## 1.2 Allgemeine Branchendaten

Prinzipiell lassen sich drei Bereiche der Druckanwendungen benennen:

1. der grafische Druck;  
die Herstellung grafischer Erzeugnisse, wie Zeitungen, Zeitschriften und Akzidenzien aller Art
2. der Verpackungsdruck;  
als ein wichtiger Teil der Verpackungsherstellung
3. die Sonderdruckverfahren;  
wie Möbeldekor-Druck, der Textildruck, der Tapetendruck, der Druck elektronischer Schaltungen etc.

Diese verschiedene Anwendungsbereiche unterscheiden sich neben der Produktstruktur und den Produktionsprozessen auch hinsichtlich der Verbandsstrukturen.

Ein sauberer statistischer Zugriff auf die deutschen Druckanlagen ist problematisch, da zwischen den technischen Anwendungsfeldern der angeführten Druckverfahren und der Branchenabgrenzung in den Systemen der volkswirtschaftlichen Statistiken nur schwer eine Deknung erreichbar ist.

Dies liegt einerseits darin begründet, dass technologisch gleichartige Druckverfahren in sehr unterschiedlichen Produktionszusammenhängen betrieben werden. So wird z.B. der Bogenoffsetdruck sowohl für Geschäftsdrucksachen als auch bei der Verpackungsherstellung eingesetzt.

Auf der anderen Seite sind Druckanlagen mit gleichartigem Produktspektrum vielfach in Betrieben mit völlig unterschiedlicher Branchenzugehörigkeit zu finden. So kann z.B. eine Flexodruckanlage für den PE-Foliendruck sowohl bei einem Folienhersteller, bei einem Verpackungshersteller oder aber bei einem Grundstoff- oder Lebensmittelhersteller installiert sein.

### 1.2.1 Der grafische Druck

Die folgende Aufstellung zeigt für den Bereich des grafischen Druckes die Bruttowertschöpfung nach Produktgruppen.

Tab. 1: Bruttowertschöpfung nach Produktgruppen

Erzeugnisse, Leistungen	Produktionswert [in Mio. DM]	Druckverfahren [nach Mengenrelevanz]
Werbedrucke, Kataloge	11.213	Illustrationstiefdruck, Heatset-Offset, Coldset-Offset
Geschäftsdrucksachen	5.324	Bogen-Offset
Zeitschriften	4.113	Illustrationstiefdruck, Heaset-Offset, Bogen-Offset
Zeitungen, Anzeigenblätter	3.907	Coldset-Offset, Bogen-Offset
Bücher, kartografische Erzeugnisse	2.227	Heatset-Offset, Bogen-Offset
Bedruckte Etiketten	1.556	Endlos-Offset
Kalender, Karten	861	Bogen-Offset
Sonstige Druckerzeugnisse	2.121	Bogen-Offset, Siebdruck
Gesamt	31.322	

[bvdm 10.2000]

Die nachfolgende Aufstellung zeigt für die angewendeten Druckverfahren, die jährlich in Deutschland eingesetzten Farbmengen sowie eine Abschätzung der Betriebe, die diese Verfahren verwenden.

Tab. 2: Farbmengen und Betriebsanzahlen im grafischen Druck

Druckverfahren	Farbeinsatzmenge [in t/a]	Anlagen [ Stck. ca]
Illustrations-Tiefdruck	89.800	16
Heatset-Offset	40.800	160
Coldset-Offset („Zeitungs-Druck“)	26.500	200
Bogen-Offset	14.100	10.000
Endlos-Offset	850	250
Buchdruck („Hoch-Druck“)	700	2
	Quelle: VdD 98	Quelle: bvdm 98

Anzumerken ist, dass in größeren Druckhäusern vielfach parallel Anlagen für die verschiedenen Offset-Verfahren betrieben werden.

Hinsichtlich der Betriebsgrößen dominieren im Bereich des grafischen Drucks eindeutig kleine und mittelständische Betriebe. Die folgende Tabelle zeigt dies im Überblick.

Tab. 3: Größenklassenverteilung im Bereich des grafischen Drucks

Mitarbeiter	1-9 [MA]	10-19 [MA]	20-49 [MA]	50-99 [MA]	100-499 [MA]	500-999 [MA]	>1000 [MA]	Gesamt [MA]
<b>Betriebe</b>								
Absolut	10.069	1.929	1.370	477	319	25	8	14.197
Anteil [%]	70,9	13,6	9,6	3,4	2,2	0,2	0,1	100
<b>Beschäftigte</b>								
Absolut	32.881	26.263	41.555	32.462	60.477	1.944	11.738	222.320
Anteil [%]	14,8	11,8	18,7	14,6	27,2	7,6	5,3	100

[BVDM 10.2000]

Im Bereich des grafischen Druckes fungiert der Bundesverband Druck und Medien (bvdm) als zentraler Branchenverband mit vergleichsweise hohem Organisationsgrad.

### 1.2.2 Der Verpackungsdruck

Die folgende tabellarische Aufstellung gibt einen Überblick über wichtige Verpackungskategorien und die dort eingesetzten Druckverfahren.

Tab. 4: Produktkategorien, Produktionsmenge und Aufteilung auf die Druckverfahren im Verpackungsdruck

Produktkategorie	Produktionsmenge 1997	Flexodruck [Anteil %]	Tiefdruck [Anteil %]	Bogen-Offset [Anteil %]
Schachteln und Kartons aus Wellpapier oder Wellpappe	2.975.955 t	ca. 80%	-	ca. 20%
Verpackungen aus Karton (Faltschachteln)	576.039 t	ca. 10%	ca. 20%	ca. 70%
Verpackungen aus Vollpappe	378.042 t	ca. 30%	-	ca. 70%
Verpackungen für Flüssigkeiten	334.330 t	ca. 5%	ca 95 %	-
Tapeten, Wandverkleidungen aus Papier	176.221 t	10 – 20%	80 – 90%	-
Beutel, Tüten, Tragetaschen aus Papier	166.902 t	überwiegend	gering	-
Etiketten aus Papier und Pappe	134.100 t	überwiegend	-	teilweise
Papiersäcke	136.753 t	100%	-	-
Fein- und Luxuskartonageverpackungen	49.485 t	-	ca. 30%	ca. 70%

[HPV, 1998]

Als Druckverfahren kommen insbesondere der Verpackungs-Tiefdruck sowie der Flexodruck zum Einsatz. Wobei je nach Produktart und Bedruckstoffeigenschaften jeweils sowohl lösemittel- als auch wasserbasierte Farben verdruckt werden.

Die nachfolgende Aufstellung zeigt für die angewendeten Druckverfahren, die jährlich in Deutschland eingesetzten Farbmengen sowie eine Abschätzung der Betriebe, die diese Verfahren verwenden.

Tab. 5: Farbmengen und Betriebsanzahlen im Verpackungsdruck

Druckverfahren	Farbeinsatzmenge [in t/a]	Betriebe [ Stck. ca]
Tief-Druck lösemittelbasiert	19.700	ca. 100
Tief-Druck wasserbasiert	15.400	
Flexo-Druck lösemittelbasiert	9.800	
Flexo-Druck wasserbasiert	8.100	ca 350 / 1.500
	Quelle: VdD, 98	Quelle: HPV, DFTA

Im Bereich des Flexo-Druckes ist anzumerken, dass es sich nur bei ca. 350 Betrieben um eigentliche Verpackungsdruckereien mit einer relevanten Druckmaschinenausstattung handelt. In den übrigen Betrieben sind einzelne sogenannte „Vorsatzdruckwerke“ im Rahmen der Papier-, Pappe- und Folienherstellung bzw. Verarbeitung im Einsatz.

Beim Verpackungsdruck im Bogenoffset oder im Siebdruck treten keine grundlegend anders gearteten Emissionen auf als beim Druck grafischer Erzeugnisse. Weitergehende Emissionslasten können sich hier allerdings aus typischen Nebenprozessen der Verpackungsherstellung, wie dem Kleben, dem Kaschieren und dem Lackieren mit lösemittelhaltigen Lacken ergeben. In beiden Druckverfahren gibt es in Deutschland nach derzeitigem Kenntnisstand keine Anlagen, die die Mengenschwellen der IVU-RL überschreiten. Allerdings können sie in Ausnahmefällen und mit deutlich untergeordneter Mengenbedeutung als Teil einer großen Flexo- oder Tiefdruck-Verpackungsdruckanlage betrieben werden.

Die Verpackungsdruckereien sind in der Bundesrepublik Deutschland überwiegend im Hauptverband der Papier, Pappe und Kunststoffe verarbeitenden Industrie (HPV) bzw. seinen Unterverbänden organisiert. Wie bereits ausgeführt gibt es allerdings auch eine relevante Zahl von Betrieben, die in anderen Verbänden, z.B. im Verband der Chemischen Industrie (VCI) oder in Verbänden der Nahrungs- und Genussmittelbranche organisiert sind.

### 1.2.3 Die Sonderdruckanwendungen

Bei den Sonderdruckverfahren handelt sich hier überwiegend um hochspezialisierte Einzelanlagen.<sup>1</sup> Diese Anlagen entzieht sich damit einer generalisierenden Darstellung und sind nach Abstimmung mit dem Auftraggeber nicht Bestandteil der folgenden Untersuchung.

## 1.3 IVU-relevante Anlagen

In den Regelungsbereich der IVU-Richtlinie (96/61/EG) fallen nach Anhang 1 Nr. 6.7 alle Druckanlagen, die eine Lösungsmittel-Verbrauchskapazität von > 150kg/h oder >200 t/a haben.

Die folgende Tabelle zeigt, wie viele Druckanlagen der verschiedenen Anlagenkonstellationen in diesen Regelungsbereich fallen.

Tab. 6: Reichweite der IVU-Richtlinie in der deutschen Druckindustrie

Anlagenart	Gesamt [ca. Stck]	IVU -Anlagen [ca. Stck]	Anlagen nach 1999/13/EG [ca. Stck]
Grafischer Druck			
Illustrations-Tiefdruck	16	16	16
Coldset-Offset	200	keine	per Definition ausgegrenzt
Bogen-Offset	ca. 10.000	Vermutl. keine	per Definition ausgegrenzt
Heatset-Offset	160	ca. 100	160
Endlosdruck	250	keine	per Definition ausgegrenzt
Buchdruck	2	keine	per Definition ausgegrenzt
Verpackungsdruck			
Verpackungs-Tiefdruck	ca. 100	ca. 30	ca. 80
Verpackungs-Flexodruck	Ca. 350	ca. 30-40	ca. 150

[Abschätzung ÖKOPOL]

Diese Aufstellung geht von der Annahme aus, dass sich die Lösemittelverbrauchskapazität auf die realen Gesamtmengen von allen in der Anlage verwendeten Lösemitteln bezieht, die unter die VOC-Definition der EG-Lösemittelrichtlinie (EG 13/1999) fallen.

Diese Basisdefinitionen sind von entscheidender Bedeutung, da in den Hilfs- und Nebenprozessen typischer Druckanlagen je nach Anlagentyp zwischen 20% und 180 % zusätzlicher Lösemittel bezogen auf die verdruckten Farben<sup>2</sup> zur Anwendung kommen.

Aus den benannten Hilfsstoffrelationen folgt u.a., dass auch einige ausschließlich oder überwiegend wasserbasiert arbeitenden Druckanlagen in den Regelungsbereich der IVU-Richtlinie fallen.

Nicht IVU-relevant sind in Deutschland vor dem Hintergrund der skizzierten Basisdefinition der Coldset- und der Bogen-Offsetdruck. In beiden Druckverfahren kommen ausschließlich Druckfarben zum Einsatz, die auf Mineralölen basieren, deren Dampfdruck deutlich geringer ist als 0,01 kPa und die somit keine VOC darstellen.<sup>3</sup>

Gerade im Bereich der Verpackungsherstellung werden Druckanlagen vielfach in engem Produktionszusammenhang mit weiteren lösemittelrelevanten Prozessen (wie Kleben, Kaschieren, Beschichten) eingesetzt. Je nach Interpretation und Umsetzung des Anlagenbegriffes können hier somit auch kleinere Druckanlagen Teil einer IVU-Anlage sein.

Entsprechend der dargestellten Reichweite der IVU-Richtlinie in der deutschen Druckindustrie werden die folgenden Druckanlagentypen behandelt:

- Heatsetdruck-Anlagen
- Verpackungsdruck-Anlagen
- Illustrationstiefdruck-Anlagen

## 1.4 Spezifische Darstellungsmethodik

Die Produktion in der Druckindustrie ist geprägt durch vergleichsweise hochtechnisierte Druckprozesse in sehr spezialisierten Druckmaschinen und eine Vielzahl z.T. noch stark handwerklich geprägter Hilfs- und Nebenprozesse. Dabei wird in diesen Druck-Anlagen ein breites Produktspektrum mit recht verschiedenartigen „Zielqualitäten“ gefertigt, wobei unterschiedlichste Prozesskombinationen eingesetzt werden.

---

<sup>1</sup> Größere Druckanlagen gibt es insbesondere noch im Bereich des Textildruckes sowie bei der Herstellung von Relieftapeten im Rationssiebdruck. Der Textildruck wird im Kontext mit der BVT-Diskussion in der Textilindustrie gesondert bearbeitet. Für den Bereich der Relieftapeten gibt es in Deutschland derzeit noch ca. 5 Anlagen die relevanten Mengen von PVC-Plastisolen verarbeitet, bei denen VOC-Gehalte in diesen Plastisolen enthalten sind.

<sup>2</sup> bzw. bis zu 230 % bezogen auf die Lösemittel in den Farben

<sup>3</sup> Dessen ungeachtet werden auch bei diesen Druckverfahren vielfach relevante Mengen VOC-haltiger Hilfsstoffe (insbesondere als Reinigungsmittel sowie als Wischwasserzusatz im Bogenoffset-Druck) verwendet. Den Gutachtern liegen aber keine Erkenntnisse darüber vor, dass es Betriebe in Deutschland gibt, bei denen die Menge dieser VOC-haltigen Hilfsstoffe die Mengenschwellen der IVU-RL überschreiten. (vergl. Tab. 6)

Um unter diesen Rahmenbedingungen sinnvoll vergleichbare, spezifische Verbrauchs- und Emissionsmengen benennen zu können, wird in dieser BVT-Beschreibung eine spezielle Strukturierung verwendet.

1. Für jedes der betrachteten Druckverfahren werden die Produktionsprozesse einer solchen Druckanlage in Haupt- und die Nebenprozesse differenziert. Die Hauptprozesse sind dabei mit dem eigentlichen Kernprozess – dem Drucken selbst – technisch direkt gekoppelt, so dass sich hier spezifische Verbrauchs- und Emissionsrelationen abbilden lassen. Die Nebenprozesse sind dagegen deutlich variabler über die Handhabungspraxis bzw. über die Betriebsabläufe mit dem Druckprozess verbunden.
2. Zur Darstellung der Hauptprozesse werden Maschinen-Konfigurationen verwendet, die einen fortgeschrittenen Stand der Technik im jeweiligen Druckverfahren repräsentieren (Modell-Anlage).
3. Da die Mengenverbräuche (und die Emissionswerte) wie skizziert auch sehr produktabhängig sind, wird darüber hinaus ein typisches Produktspektrum angesetzt, welches in Verbindung mit der Modell-Anlage einen Lösemittelverbrauch oberhalb der Mengenschwellen der IVU-Richtlinie bedingt.
4. Ergänzend zur detaillierten Darstellung der Hauptprozesse mittels der Modell-Anlagen, werden beispielhaft auch Gesamtanlagen („Referenz-Anlagen“) dargestellt, bei denen auch die Nebenprozesse mit erfasst sind.

Die Beschreibung der den Modell-Anlagen zugeordneten Stoff- und Energieströme sowie die auftretenden Emissionen erfolgt auf einer breiten Basis von Durchschnittswerten aus einer Vielzahl von Druckanlagen. Für die Ermittlung dieser Werte wurde auf

- die ÖKOPOL- Branchendatenbank mit Referenzwerten von ca. 250 Druckanlagen,
- auf die gezielte Ermittlung ergänzender Betriebsdaten in geeigneten Betrieben
- sowie auf eine Vielzahl von Interviews und Gesprächen mit Fachexperten aus der Zulieferindustrie

zurückgegriffen.

## 2. Heatset-Rollenoffsetdruck-Anlagen

### 2.1 Produkte & Bedruckstoffe

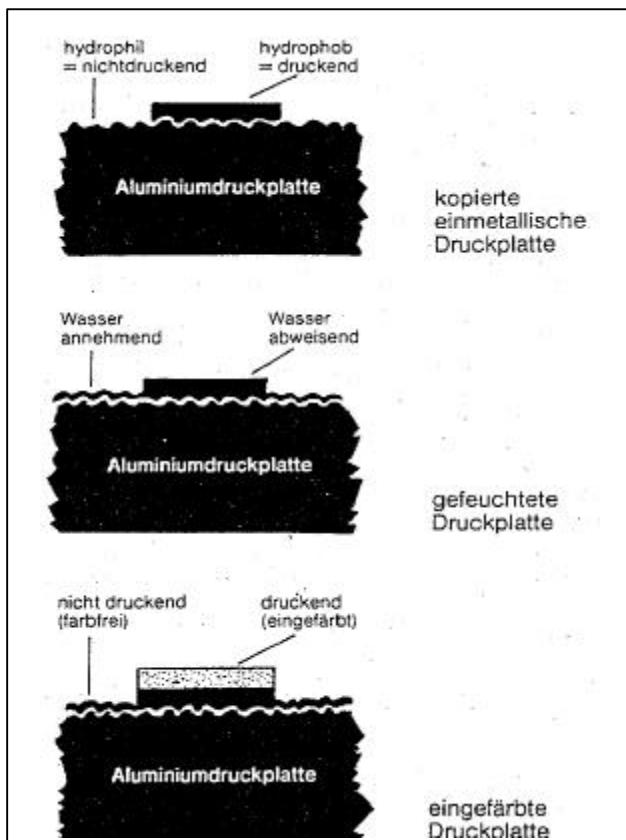
In Heatset-Anlagen werden überwiegend qualitativ hochwertige Zeitschriften produziert (fast alle Special-Interest-Zeitschriften), außerdem Bücher mit höheren Auflagen sowie ein breites Spektrum an Akzidenzen. Dies sind insbesondere Kataloge (z.B. Reisekataloge etc.) und Werbedrucksachen aller Art.

Bedruckt werden fast ausschließlich Papiere mittlerer und höherer Qualität im Grammaturbereich von 50 – 80 g/m<sup>2</sup>.

### 2.2 Druckprinzip

Beim Offsetdruck liegen die druckenden und nicht-druckenden Flächen in einer Ebene, unterscheiden sich aber in ihrem Benetzungsvermögen.

Abb. 2: Aufbau einer Offsetdruckplatte



Die nicht-druckenden Bereiche sind besonders gut mit Wasser bzw. einem Wasser-Alkohol-Gemisch und sehr schlecht mit öligen Flüssigkeiten benetzbar. Man bezeichnet diese Eigenschaft von Oberflächen als „hydrophil“ (wasserliebend) bzw. „lipophob“ (fettabweisend). Die druckenden Bereiche verhalten sich genau umgekehrt: sie sind „hydrophob“ (Wasser abweisend) bzw. „lipophil“ (fettliebend).

Die Druckform, in der Regel eine Aluminiumplatte, wird zunächst über ein *Feuchtwerk* mit Wasser oder einem Wasser/Alkohol-Gemisch in Berührung gebracht („Feuchtmit-

tel"), das die nicht-druckenden Bereiche benetzt. Anschließend erfolgt an den druckenden, lipophilen Stellen, die noch nicht durch das Feuchtwasser „besetzt“ sind, der Farbauftrag durch die Farbwalze.

Die auf der Druckform entsprechend dem Druckbild verteilte Farbe wird schließlich über ein Gummituch als Zwischenträger auf den Bedruckstoff (z.B. Papier) übertragen. Der Offsetdruck ist ein indirektes Druckverfahren.

## 2.3 Druckfarben

Im Heatset-Rollenoffsetdruck werden spezielle Heatset-Offsetdruckfarben eingesetzt. Sie trocknen überwiegend physikalisch durch Ausdampfen der (hochsiedenden) Lösemittelkomponente. Dazu wird die Papierbahn nach dem Bedrucken in einem Heißlufttrockner mit 190 - 250°C Umlufttemperatur aufgeheizt. Die Verweilzeit im Trockner beträgt 0,7 – 1,0 Sekunden. Die Papierbahn verlässt den Trockner mit 90 - 140°C.

Als Lösemittelkomponente werden Mineralöle mit einem Siedebereich von 240°C - 300°C zur eingesetzt, die einen Gewichtsanteil von etwa 35% bezogen auf die Druckfarbe haben. Im Trockner werden ca. 90 - 95 % der Mineralöle ausgetrieben, max. 5 bis 10 % der Mineralöle verbleiben, abhängig vom Bedruckstoff, im Produkt. Somit sind > 30 Gew.-% der aufgetragenen Farbmenge unter den Verwendungsbedingungen (im Trockner) flüchtig mit einem Dampfdruck von > 0,01 kPa und gelten damit gemäß Definition der EG-Lösemittelrichtlinie als VOC.

Die im Trockner der Heatset-Anlage ausgetriebenen Lösemittel werden thermischen oder katalytischen Abgasreinigungsanlagen zugeführt und dort zu etwa 99% durch Verbrennung so zerstört, dass die Forderungen der 31. BimSchV, 16.1.2 (Emissionsgrenzwerte für gefasste Abgase) eingehalten werden.

Das bedeutet folgende Emissionsgrenzwerte:

- Anlagen mit 15 - 25 t/p.a. Lösemitteldurchsatz: max. 50 mg/m<sup>3</sup> organisch gebundenes C,  
bei thermischer Nachverbrennung 20 mg/m<sup>3</sup>
- Anlagen > 25 t/p.a. Lösemitteldurchsatz: generell max. 20 mg/m<sup>3</sup> organisch gebundenes C

Gemäß der TA-Luft 5.25 dürfen organische Stoffe in einem Massenstrom eine Menge von 0,5 kg/h nicht überschreiten.

Die folgende Tabelle zeigt die Durchschnittsrezeptur für Heatset-Offsetdruckfarben.

Tab. 7: Durchschnittliche Basisrezeptur für Heatset-Offsetdruckfarben

Bestandteil	Inhaltstoffe	Anteil (Gew.%)
Bindemittel	Mineralöle (Siedebereich ca. 240°C - 300°C)	30 – 35%
	Harze, pflanzliche Öle	45 – 50%
Farbmittel	fast ausschließlich organische Pigmente (überwiegend werden die 3 Skalenfarben und Schwarz eingesetzt)	15 – 25%
Farb-Hilfsmittel	Oxidationsinhibitoren (z.B. Butylhydroxytoluol, und Wachse)	< 10%
Physikalische Eigenschaften: Festkörpergehalt ca. 67%; unterer Heizwert > ca. 36 MJ/kg; Flammpunkt > 100°C		

Beim Drucken wird auf den Bedruckstoff neben der Farbe auch Feuchtmittel übertragen. Dabei werden dem Rohwasser spezielle Feuchtmittelzusätze und Isopropanol beigegeben. Zum überwiegenden Teil handelt es sich um Isopropanol (2-Propanol, VOC aufgrund des Dampfdruckes von 4,3 kPa). Dies wird dem Feuchtmittel in reiner Form zu ca. 5% bis 15% beigemischt<sup>4</sup>. Isopropanol verbessert die Benetzungseigenschaft auf der Druckplatte, wirkt als Biozid gegen mikrobielles Wachstum im Feuchtmittel und sorgt bei seiner Verdunstung für die Kühlung des Druckwerkes. Neben Isopropanol werden dem Rohwasser etwa 1-3% weitere Feuchtmittelzusätze zudosiert. Sie haben vielfältige Funktionen<sup>5</sup>:

- Einstellung und Stabilisierung des pH-Wertes
- Topfkonservierung zur Aufrechterhaltung der Funktion
- Sofortige Benetzung der bildfreien Elemente der Druckform (Druckplatte)
- Schnelles Freilaufen der Platte nach Druckbeginn
- Steuerung des Farbe-/Feuchtmittel-Gleichgewichts
- Schutz der Druckform vor Korrosion
- Minimale Korrosivität gegenüber Maschinenbauteilen
- Verhinderung starken Aufbauens von Farbe-/Papierbestandteilen auf Drucktüchern

Nach Druck und Farbtrocknung erfolgt vielfach der Auftrag einer wässrigen Silikonemulsion, um Schmieren bzw. set-off zu verhindern (v.a. um ein aneinander Haften der bedruckten Seiten zu verhindern).

<sup>4</sup> Isopropanolgehalt im Feuchtwasser ist durch die Lösemittelverordnung (31.BImSchV) auf 8% begrenzt (Altanlagen ab 2007).

## 2.4 Druckmaschinen

### 2.4.1 Installierte Maschinenbasis

Der Heatset-Rollenoffset wird bundesweit in ca. 160 zumeist größeren Betrieben (> 50 Beschäftigte) eingesetzt. Es sind ca. 380 Maschinen mit ca. 3.400 Druckwerken installiert [BVD, 1996].

Die Maschinen verfügen meist über vier Doppeldruckwerke, d.h. es können die drei Skalafarben sowie Schwarz jeweils auf beiden Seiten der Papierbahn in einem Produktionsschritt aufgetragen werden (Schön- und Widerdruck).

Teilweise sind die installierten Maschinen mit einem fünften (selten auch bis zu acht) Doppeldruckwerk ausgestattet, die in einem Produktionsschritt auf beiden Seiten der Papierbahn neben den 4 Grundfarben zusätzliche Spezialfarben und/oder Lack auftragen können.

Weiterhin unterscheiden sich die Maschinen in Umfang und Breite der Druckzylinder: je breiter der Druckzylinder, desto mehr Papierfläche (meist gezählt als DIN-A4-Seiten) können in einem Durchlauf bedruckt werden. Besonders weit verbreitet sind Maschinenformate mit einer Druckbreite von 96,5 cm und einem Umfang von 126 cm, mit denen bei einer Walzenumdrehung 16 DIN-A4-Seiten „stehend“ angeordnete produziert werden können. Papierbahnbreiten liegen heute zwischen 965 und 2025 mm.

Die Aufstellung zeigt Einteilung, Abmessung und Marktanteile von Heatset-Rollenoffset-Druckmaschinen.

Tab. 8: Formatklassen, typische Bahnbreiten und Marktanteile von Heatset-Rollenoffset-Druckmaschinen

Formatklasse [DIN A4 Seiten]	Bahnbreite [cm]	Anteil der Maschinen
8-Seiten-Maschinen (liegend)	67,3	15 %
16-Seiten-Maschinen (stehend)	96,5	44 %
24-Seiten-Maschinen (stehend)	145,0	4 %
32-Seiten-Maschinen (liegend)	126,0	26 %
48-Seiten-Maschinen (stehend)	145,0	6 %
64-Seiten-Maschinen (stehend)	180,0	5 %

[CN-Papier 2001]

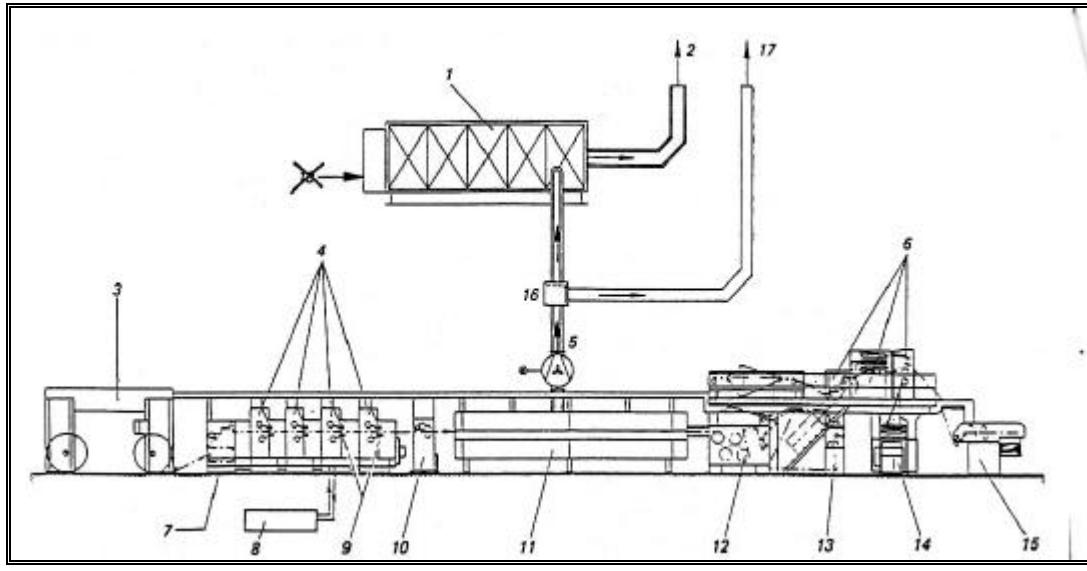
---

<sup>5</sup> Solche Feuchtmittel können wiederum VOC-Anteile von bis zu 15 Gew.% enthalten.

## 2.4.2 Grundaufbau

Die folgende Skizze zeigt den Aufbau einer Heatsetoffsetdruck-Anlage.

Abb. 3: Anlagenaufbau Heatsetoffsetdruck



[VDI 1995]

- |                                  |                                 |                   |
|----------------------------------|---------------------------------|-------------------|
| 1 Abgasreinigungsanlage          | 7 Einzugswerk                   | 13 Perforierwerk  |
| 2 Reingasableitung               | 8 Feuchtwasseraufbereitung      | 14 Falzapparat    |
| 3 Rollenabwicklung und -wechsler | 9 Gummimittchwascheinrichtungen | 15 Querschneider  |
| 4 Druckeinheiten                 | 10 Leimwerk                     | 15 Umschaltklappe |
| 5 Rohgasableitung                | 11 Trockner                     | 16 Anfahrstutzen  |
| 6 Falzapparataufbau              | 12 Kühlwalzen                   |                   |

## 2.5 VOC-Einsatz

Während bei Umgebungstemperatur aus Offsetdruckfarben keine VOC emittieren, entstehen VOC-Emissionen aus Heatsetfarben unter Verwendungsbedingungen (im Trockner durch Erhitzung der verdrückten Farben). Weiterhin verursachen die im Heatset-Rollenoffsetdruck eingesetzten Hilfsstoffe (Isopropanol, Waschmittel) bereits bei Umgebungstemperatur VOC-Emissionen, da sie bei Normaldruck und 20°C Dampfdrucke von mehr als 0,01 kPa besitzen. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über typische VOC-haltige Einsatzstoffe sowie durchschnittliche Einsatzmengen, jeweils in Relation zur Farbmenge (Ökopol-Datenerhebung Basisjahr 1997).

Tab. 9: VOC-relevante Einsatzstoffe im Heatset-Offsetdruck und spezifische Einsatzmenge bezogen auf Farbeinsatz (Erhebungsjahr 1997)

Stoff	Dampfdruck [bei 20°C]	Einsatzzweck	Spezif. Einsatzmenge [Gew.% in Relation zur eingesetzten Gesamt-Farbmenge als 100%-Wert]
Hochsiedende Mineralöle (in Farbe und Lack)	< 0,01 kPa, > 0,01 kPa im Trockner	Farblösemittel wird im Heißluft-trockner bei 190 - 250°C Umluft-temperatur zu > 90 % verdunstet.	30,0 - 35,0 %
Isopropanol (im Feuchtwasser)	4,3 kPa	Verringerung der Feucht mittel-Oberflächenspannung, Kühlungseffekt durch Verdunstung, Verhinderung mikrobiellen Wachstums	18,0 – 21,0 %
Mineralöl- oder pflanzenölbasierte Lösemittel mit unterschiedlichen Dampfdrucken (als Reinigungsmittel)	A I: > 1,8 kPa A II: 0,3 – 1,0 kPa A III: 0,04 – 0,15 kPa HCA: 0,002 - 0,03 kPa VCA: < 0,01 kPa	Reinigung farbführender Maschinenteile während des Druckes (Zwischenreinigung) Reinigung farbführender und sonstiger Maschinenteile nach dem Druck (Grundreinigung)	Gesamt: 4,5-6,5 % A I: 12,9% A II: 36,3% A III: 39,2% HCA: 9,7% VCA: 1,9%
Klassifizierung von Reinigungsmitteln gemäß Flammpunkt: A I = unter 21°C, A II = 21° bis unter 55°C, A III = 55°C bis 100°C, HCA = High Boiling Cleaning Agents (Flammpunkt > 100°C), VCA = Vegetabil Cleaning Agents (Flammpunkt >> 100°C)			

[ÖKOPOL 1999]

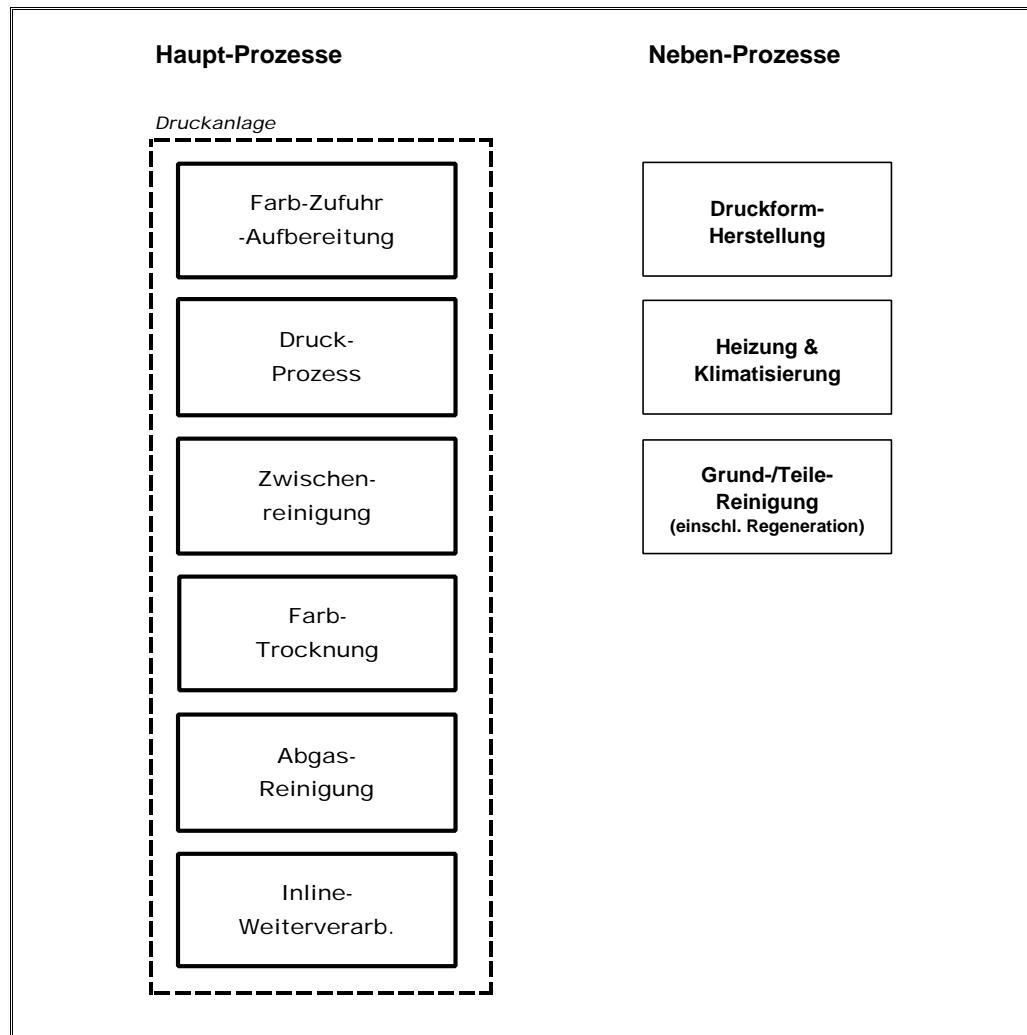
#### Prozessschema und charakteristische Stoffflüsse

#### 2.5.1 Systemgrenzen für die BVT-Betrachtung

Die folgende Abbildung zeigt schematisch die wesentlichen Fertigungsprozesse in einer branchentypischen deutschen Heatsetoffsetdruck-Anlage.

Die Anzahl der Prozesse, die technisch direkt mit dem Druckprozess verkoppelt sind, ist bei modernen Heatset-Druckanlagen im Gegensatz zu anderen Druckverfahren vergleichsweise hoch.

Abb. 4: Prozessschema Heatsetoffsetdruck-Anlage



[ÖKOPOL 2002]

## 2.5.2 Hauptprozesse

### Farbaufbereitung und Farbzufuhr:

Eine Farbaufbereitung ist im Heatset-Rollenoffsetdruck nicht notwendig, da die Farben üblicherweise druckfertig bezogen werden. Meist wird nur mit den drei Skalenfarben und Schwarz gearbeitet, mit denen durch den Rasterdruck die gesamte Farbpalette wiedergegeben werden kann. Werden zusätzliche Sonderfarben oder Lacke eingesetzt, werden auch diese in der Regel druckfertig bezogen.

Die Zuführung der drei Skalenfarben und der Schwarzfarbe in die Druckwerke erfolgt über festverrohrte Farbpumpen direkt aus zentralen Mehrweg-Containergebinden. Sonderfarben werden meist noch manuell aus Einweg-Metallemballagen in die Farbkästen gepumpt.

Wenn Heatset-Druckfarben und -lacke in der Anlage bei Umgebungstemperatur gehandhabt werden, treten keine VOC-Emissionen auf, da die Farben schwer flüchtige Mineralöle enthalten (Dampfdruck < 0,01 kPa).

Entsorgungsbedürftige Abfälle (Farbreste) entstehen insbesondere beim Einsatz von Sonderfarben durch überlagerte Restfüllmengen in den Einweg-Gebinden. Technisch bedingte, kleinere Restfüllmengen in den Mehrwegcontainern werden dagegen bei ordnungsgemäßer Handhabung bei den Farblieferanten wiederverwendet.

#### Druckprozess:

Der Farbauftrag pro Quadratmeter Druckfläche ist sehr stark vom gedruckten Motiv sowie vom Papier-Flächengewicht („Grammatur“) abhängig. Er beträgt bis zu 2 g/m<sup>2</sup> auf jeder Seite. Die Druckgeschwindigkeit beträgt bis zu 15 m/s (50.000 Zylinderumdrehungen/Stunde) und ist dadurch begrenzt, dass die aufgetragene Farbmenge nach dem Druckprozess innerhalb der installierten Trocknerlänge (meist 10-15 m) ausreichend trocknen können muss.

Bei den meisten Produkten ist der Farbauftrag pro m<sup>2</sup> allerdings geringer als beidseitig 2 g/m<sup>2</sup>, und so kommen an einer Druckmaschine mit 4 Doppeldruckwerken (96,5 cm Bahnbreite) stündlich z.B. etwa 48 kg Farbe und ca. 80 Liter Feuchtmittel, das ca. 9 kg Feuchtmittelzusätze (größtenteils Isopropanol) enthält sowie etwa 1,5 kg Silikonemulsion zum Einsatz.<sup>6</sup>

Die Zuführung und Dosierung der VOC-haltigen Feuchtmittelzusätze erfolgt in geschlossenen Dosieranlagen, doch in der Druckmaschine wird das Feuchtmittel durch eine Reihe von Übertragungswalzen in Form eines dünnen Films auf die Druckplatte übertragen. Anschließend wird ein Teil des Feuchtmittels (< 10%) mit der Papierbahn in den Heizkanal geleitet, wo die im Feuchtwasser enthaltenen VOC ausgetrieben und der Abgasreinigungsanlage zugeführt werden. Der übrige Teil der VOC-Anteile des Feuchtmittels verdunstet bereits während des Druckprozesses in der Maschine und entweicht über die Hallenentlüftung diffus in die Umgebungsluft. Die Höhe dieser VOC-Emissionen beim Druckprozess ist insbesondere von der Höhe der Isopropanolkonzentration im Feuchtmittelsystem abhängig.

Abfall entsteht beim Druckprozess in Form von Fehldrucken („Makulatur“). Fehldrucke entstehen regelmäßig bei Anfahren der Maschinen (sogenannte Anfahr- oder Anlauf-Makulatur), da eine Reihe von Drucken benötigt werden, bis sich an allen Farbwerken ein stabiles Farb-

---

<sup>6</sup> Da die Stoffverbräuche wie skizziert von den Produktionsgeschwindigkeiten und den Druckprodukten dominiert werden, zeigen die exemplarischen Werte v.a. die Mengenrelation zwischen den verschiedenen Stoffverbräuchen im Druckprozess auf.

Feuchtmittel-Gleichgewicht und damit ein gleichmäßiges Druckbild einstellt<sup>7</sup>. Die durch Computer unterstützten Vor-Einstellsysteme moderner Maschinen reduzieren den Makulaturanfall deutlich.

Weitere Emissionen, Abfälle oder Abwasser entstehen während des Druckprozesses üblicherweise nicht.

#### Zwischenreinigung:

Bei auftretenden Druckproblemen und zur Sicherstellung einer gleichmäßigen Produktqualität werden Zwischenreinigungen der farbübertragenden Gummitücher durchgeführt. Sie erfolgen etwa im Abstand von 1-4 Stunden. In der Regel werden dazu automatische Reinigungsanlagen eingesetzt. Etwa 80% der Maschinen sind in Deutschland mit automatischen (Gummituch)-Waschanlagen ausgestattet. Die Systeme unterscheiden sich durch die Art der Auftragung von Reinigungsmittel sowie des Abtransports der Verunreinigungen. 55% der Anlagen arbeiten mit Tuchbahnen, 30-35% mit Bürstensystemen, 10-15% mit Sprühsystemen. In den übrigen Anlagen erfolgt die Gummituchreinigung noch händisch.

Die verschmutzten Druckwalzen werden beim Waschvorgang zunächst mit Lösemitteln benetzt. Je nach Art der Reinigungsanlage werden die Farb-Lösemittel-Verunreinigungen anschließend mit Wasser abgewaschen (Bürstenwaschanlage) oder über das Andrücken auf eine Tuchbahn (Tuchbahnanlage) bzw. auf die Papierbahn selbst (Papierbahnanlage) übertragen. Teilweise werden zur Reinigung auch Tuchbahnen eingesetzt, die bereits mit schwer flüchtigen Reinigungsmitteln getränkt bezogen werden (Dampfdruck < 0,01 kPa), so dass ein vorhergehendes Besprühen der Walzen nicht nötig ist.

Die Dauer einer Zwischenreinigung beträgt etwa 20-80 Sekunden, wobei für 4 Doppeldruckwerke mit 96,5 cm Bahnbreite in Abhängigkeit von der Art der Waschanlage 70-800 ml Reinigungsmittel benötigt werden. Etwa 90% der im Heatsetdruck eingesetzten Reinigungsmittel sind derzeit VOC (Dampfdruck  $\geq$  0,01 kPa), die übrigen 10% sind höher siedende Reinigungsmittel auf Mineralöl- oder Pflanzenölbasis bzw. Mischungen daraus.

Die Höhe der VOC-Emissionen bei der Zwischenreinigung ist abhängig vom Dampfdruck des verwendeten Reinigungsmittels, von der Reinigungstechnik (Art der automatischen Waschanlage oder Handreinigung) sowie von der Handhabungspraxis der Beschäftigten. Ein kleiner Teil der VOC aus den Reinigungsmitteln (je nach Art der Waschanlage 5-15%) wird mit der Papierbahn in den Trockner geführt, dort ausgetrieben und aufgrund der vollständigen Kapselung des Trockners zu 100% der Abgasreinigung zugeführt. Je nach Dampfdruck und Waschanlagentyp

---

<sup>7</sup> Zusätzlich müssen von den Druckern eine Reihe von Einstellungen vorgenommen werden, damit die Menge der aufgetrage-

emittieren die übrigen VOC-Mengen diffus in die Raumluft oder sie verbleiben in den Reini-gungsabfällen.

Als entsorgungsbedürftige Abfälle entstehen je nach Art der Gummituchwaschanlage: farbver-unreinigte Lösemittel-Wassergemische (Bürstenwaschanlagen), Zellstofftücher mit Farb- und Lösemittel-Verunreinigungen (Tuchbahnanlagen sowie Handreinigung) oder farb- und lösemittelverunreinigte Druckmakulatur (Papierbahn). Da während des Waschvorganges die Papier-bahn weiter durch die Druckmaschinen geführt wird, entsteht während dieser Zeit Druckmaku-latur.

Abwasser entsteht bei der Zwischenreinigung nicht.

**Farbtrocknung:**

Die physikalische Trocknung der Heatset-Offsetdruckfarben erfolgt durch Verdunstung der Lö-semittelkomponente im Heißluftstrom des Trockenkanals bei 180°- 250°C im Anschluss an das letzte Druckwerk. Der Heißluftstrom wird mit elektrischem Strom oder Gas erzeugt. Teilweise ist direkt in die Trockner eine Abgasreinigung integriert, die die verdampfenden Mineralöle ver-brennt und dabei deren Energiegehalt zur Heißlufterwärmung für den Trockner nutzen. Dies verringert den Gasbedarf.

Die Papierbahn tritt mit etwa 90°C-140°C aus dem Trockner aus und wird anschließend mittels entsprechender Kühlwalzen gekühlt. Die Temperatur im Abgas des Trockners beträgt zwischen 120°-180°C.

Die Mineralöle der Heatsetfarbe haben im Trockner, also unter Verwendungsbedingungen, ei-nen Dampfdruck von mehr als 0,01 kPa. Etwa der Mineralöle (Mineralölanteil 30-35%) werden dabei als VOC aus der Farbe ausgetrieben. Die übrigen 10% verbleiben im Farbfilm und sind bei Umgebungstemperatur wieder schwer flüchtig<sup>8</sup>. Die bei der Trocknung ausgetriebenen Lö-semittel (ca. 30% der Farbmenge) werden aufgrund der vollständigen Kapselung des Trockners zu etwa 100% der Abgasreinigung zugeführt.

Abfälle oder Abwasser entstehen bei der Farbtrocknung nicht.

**Abgasreinigung:**

Alle unter die Regelungen der IVU-Richtlinie fallenden Heatset-Offsetdruckanlagen sind in Deutschland mit Abgasreinigungsanlagen ausgestattet. Es handelt sich dabei überwiegend um thermische Nachverbrennungsanlagen (z.T. „regenerative“ Systeme: Vorheizung der Abgase vor der Verbrennungskammer mit zwischengespeicherter Verbrennungswärme). Nur vereinzelt

---

nen Farbe und die „Passung“ der hintereinander gedruckten Farben exakt dem gewünschten Qualitätsziel entsprechen.

kommen katalytische Abgasreinigungsanlagen zum Einsatz, da der Druckprozess zur „Vergiftung“ der Katalysatormetalle beitragen kann, wenn die im Heatset-Offsetdruck vielfach eingesetzten Silikonverbindungen in den Abgasstrom gelangen.

In der Abgasreinigungsanlage werden die im Heizkanal gebildeten VOC aus der Farbe durch Verbrennung zu 99% zerstört. Auch ein geringer Teil der Reinigungsmittel aus der Zwischenreinigung der Druckmaschine sowie Feuchtwasserzusätze (v.a. Isopropanol) werden über die Pierbahn in den Heizkanal eingebracht. Dort werden diese VOC-Emissionen ebenfalls von der Abgasreinigungsanlage erfasst und durch Verbrennung zu 99% zerstört.

Die Abgasmengen sind abhängig von der Bahngeschwindigkeit und betragen für eine 16-Seiten-Maschine (4 Doppeldruckwerke mit 96,5 cm Bahnbreite) zwischen 1.000 und 4.000 Norm-Kubikmeter pro Stunde<sup>9</sup>. Die Abgase haben eine Beladung von max. 8 gC/Nm<sup>3</sup>.

Der Energieverbrauch der Abgasreinigungsanlagen ist vom gewählten System abhängig.

Der größte Teil der installierten Abgasreinigungsanlagen erreicht in der Betriebspraxis im Reinigas Emissionswerte unterhalb 20 mgC/Nm<sup>3</sup>.

Von Bedeutung für die Umwelteffizienz der Gesamtanlage ist der Erfassungsgrad der Abgasreinigungsanlage hinsichtlich der im Druckprozess frei gesetzten VOC-Mengen – die nicht erfassten VOC-Mengen werden über die Lüftungsanlage diffus emittiert.

Tab. 10: Typische Erfassungsgrade verschiedener VOC-Emissionen

VOC-haltige Einsatzstoffe	Erfassungsgrad
VOC aus Farben und Lacken	= 100 %
VOC aus Feuchtwasserzusätzen	= 10 %
VOC aus Reinigungsmitteln bei der automatischen Zwischenreinigung	= 15%
VOC aus Reinigungsmitteln bei der händischen Zwischenreinigung	ca. 0 %
VOC aus Reinigungsmitteln zur Grundreinigung	ca. 0 %

[ÖKOPOL, 1999]

Nicht in der Abgasreinigung erfasste Emissionen ergeben sich dadurch, dass:

- ein Teil der beim Druckprozess entstehenden VOC nicht in den Trockenkanal eingesaugt wird (u.a. Isopropanol sowie VOC aus Reinigungsmitteln);
- VOC-haltige Stoffe eingesetzt werden, während der betreffende Anlagenteil nicht an die Abgasreinigungsanlage angeschlossen ist (z.B. bei der Grundreinigung).

<sup>8</sup> Deutsche Umsetzung der EU-VOC-Richtlinie definiert, dass verbleibende Lösemittel nicht zu den diffusen Emissionen zählen.

<sup>9</sup> VDI-Richtlinie 2587, 1995

Die Zuführung der mit VOC aus diffusen Quellen beladenen Hallenluft zur Abgasreinigungsanlage ist selbst bei eingekapselten Maschinen problematisch, da der Gesamt-Kohlenstoffgehalt im Abluftstrom einer Hallenabsaugung nur bei  $0,2 - 0,4 \text{ g/m}^3$  liegt. Damit würde ein überproportional hoher Energiebedarf für die Verbrennung der Abgase benötigt. Abfälle und Abwasser entstehen im Normalbetrieb der Abgasreinigungsanlage nicht.

#### Inline-Weiterverarbeitung:

Die üblichen Inline-Weiterverarbeitungsschritte der Heatset-Rollenoffsetdruckanlagen bestehen im Falzen, Zusammenlegen, Binden und Schneiden der bedruckten Papierbahn.

Staubförmige Emissionen aus diesen Prozessen werden durch eine Absaugung der weitgehend gekapselten Aggregate erfasst und abgeschieden. Weitere Luftemissionen treten nicht auf.

Neben den abgeschiedenen Papierstäuben fallen als Abfälle aus diesem Prozessschritt Schnittreste an.

#### 2.5.3 Neben-Prozesse

##### Druckformherstellung:

Die Herstellung der Druckform erfolgt in der Regel innerhalb der Anlage. Es werden flexible Aluminium-Einmetallplatten verwendet, die mit einem lichtempfindlichen Material in einer Schichtdicke von  $1 - 3 \mu\text{m}$  beschichtet sind. Das Druckbild wird in Form eines teilweise lichtdurchlässigen Filmes über die zu entwickelnde Druckplatte gelegt (Kopierrahmen) bzw. in einer Vielzahl von Betrieben bereits elektronisch von einem Computer auf die Druckplatte übertragen (Computer-to-plate, "CTP").

An den von UV-Licht getroffenen Stellen reagiert das lichtempfindliche Material der Druckplatte, bei Positiv-Druckplatten mit Aufweichung, bei Negativ-Druckplatten mit Aushärtung. Die nicht gehärteten Bestandteile der Beschichtung werden anschließend mit Entschichtungs-Chemikalien entfernt. Dabei durchläuft die Platte drei Bäder in einem Plattenentwicklungsautomaten: Entschichtung, Spülung, Gummierung.

Das Entschichterbad enthält alkalische oder saure Entschichter-Chemikalien, die meist kontinuierlich durch Frischmaterial regeneriert werden. Der Regenerationsstrom kann individuell programmiert werden und beträgt etwa  $100-200 \text{ ml}$  je Quadratmeter Druckplatte. Die Zudosierung von Regenerat erzeugt im Überlauf des Entschichterbades bei jeder Entwicklung  $100-200 \text{ ml/m}^2$  Abfall, der meist separat gesammelt und entsorgt wird.

Durch ungenügende Abquetschung an den Walzen kann der Entschichter in das nachfolgende Spülwasser „verschleppt“ werden und Chemikalien ins Abwasser gelangen.

Wenn Positiv-Druckplatten eingesetzt werden (Marktanteil ca. 75%), sind die wesentlichen Inhaltsstoffe des Entschichters Alkalihydroxide, Alkalisilikate und Netzmittel. Gebrauchte Positiventschichter enthalten in der Regel keine stark wasserbelastenden Stoffe, sie können daher in Deutschland - wenn eine biologische Kläranlage vorhanden ist und die lokalen Einleitungs-grenzwerte dies erlauben - ins Abwassernetz abgeleitet werden.

Die Entschichtung von Negativ-Druckplatten führt teilweise zu kupferhaltigen Überläufen (Kupferphthalocyanin), die aus den Farbstoffen der lichtempfindlichen Beschichtung einiger Plattenarten resultieren. Gebrauchte Negativentschichter aus solchen Prozessen enthalten zwischen 20 - 100 mg Cu/l<sup>10</sup>. Sie dürfen daher nicht abgeleitet, sondern müssen als Abfall entsorgt werden. Durch ungenügende Abquetschung der Transportwalzen zwischen den Entschichtungsbädern können die Kupfersalze ins Spülwasser austragen werden und ins kommunale Abwassernetz gelangen. Weiterhin kann die Entschichtung von Negativ-Druckplatten mit geringen VOC-Emissionen verbunden sein, da der Entschichter neben Alkalosalzen und Tensiden bis zu 5% Alkohole enthält. Ausgetragene VOC des Plattenentschichters werden im Abwassernetz teilweise organisch abgebaut, teilweise emittieren sie diffus.

Bei einer üblichen Justierung der Transportwalzen sind die Überläufe des Spülwassers aus dem zweiten Bad im Entschichtungsbädern so gering belastet (CSB bei Positiventschichter ca. 50 mg/l, bei Negativentschichter ca. 300 mg/l, AOX-Belastung bei beiden Verfahren vernachlässigbar<sup>11</sup>), dass sie unbehandelt abgeleitet werden können.

Die Spülmengen sind individuell regelbar und können bis zu 15 Liter pro Quadratmeter Druckplatte betragen. Minimierungen werden durch die Installation von Kaskaden- oder Kreislauf-spülsystemen erreicht.

Im Entschichterautomaten kann in einem dritten Bad eine Schutzschicht auf die Druckplatte aufgetragen werden. Die „Gummierung“ besteht aus einer schwach sauren wässrigen Lösung mit Dextrin oder Gummi arabicum, der Biozide wie Kathon und Bronopol beigemischt sind. Abfälle aus diesem Bereich entstehen periodisch bei der Reinigung der Bäder. Trotz möglicher AOX-Konzentrationen von bis zu 3 mg AOX/l, die aus den Bioziden resultieren können, dürfen die Abwässer aus der Gummierungsbad-Reinigung in Deutschland wegen der geringen Mengen abgeleitet werden.

Weitere Abfälle der Druckformherstellung bestehen aus fehlerhaft kopierten Druckplatten.

#### Raumluft-Klimatisierung:

Neue Heatset-Rollenoffsetdruckmaschinen werden jeweils durch einen eigenen Maschinenraum innerhalb der Produktionshalle gekapselt. In der Kapsel wird die Raumluftklimatisierung

---

<sup>10</sup> Hinweise und Erläuterungen zu Anhang 56 der Abwasserverordnung, Fricke et.al. 2000

so gesteuert, dass ein optimaler Produktionsablauf gewährleistet ist (z.B. Vermeidung statischer Aufladungen) und die Voraussetzungen für eine gleichmäßige Produktqualität vorliegen (z.B. Verhinderung von Papierbahn-Formatveränderungen durch Feuchtigkeitsschwankungen). Die Parameter Temperatur und Luftfeuchtigkeit werden laufend überwacht und geregelt. Die Luftaustauschraten werden in Deutschland so eingestellt, dass der Isopropanolgehalt der Raumluft die maximal zulässige Arbeitsplatzkonzentration (MAK-Wert) von  $490 \text{ mg/m}^3$  nicht überschreitet. Die Raumluft-Klimatisierung leitet die in der Maschinenkapsel auftretenden Emissionen unbehandelt über Dach ab.

#### Grundreinigung:

Vor längeren Produktionsunterbrechungen (z.B. am Wochenende) sowie bei im Heatset-Offsetdruck selten vorkommenden Farbwechseln (Austausch einer Farbe an einem Druckwerk) werden die farbführenden Teile der Maschine mit Hilfe von VOC-haltigen Lösemitteln gereinigt. Neben den Gummituchwaschanlagen (siehe Zwischenreinigung) sind neuere Druckanlagen teilweise auch mit Farbwerk-Wascheinrichtungen ausgestattet. Ansonsten wird händisch mit Hilfe von Putztüchern gereinigt.

Die Reinigung der weiteren, nicht farbführenden Maschinenteile erfolgt meist in längeren Intervallen. Sie werden üblicherweise mit VOC-freien Reinigern durchgeführt.

Im Rahmen solcher Instandhaltungs- und Wartungsarbeiten werden periodisch auch die Wischwasser-Systeme der Druckanlagen entleert und gereinigt (gespült).

Die Häufigkeit der skizzierten Grundreinigungsvorgänge sowie die Hilfs-Stoffverbräuche sind in hohem Maße von der "Instandhaltungs-Philosophie" der Unternehmen abhängig.<sup>12</sup>

Eine Zuführung von Abluft-(Teil-)strömen zur Abgasreinigung erfolgt bei der Grundreinigung nicht, so dass die (leicht-)flüchtigen organischen Verbindungen diffus in die Umwelt emittieren.

Als entsorgungsbedürftige Abfälle entstehen, wie bei der Zwischenreinigung, Farbreste, farbverunreinigte Lösemittel, farbverunreinigte Lösemittel-Wassergemische sowie farbverunreinigte (Putz-)Tücher.

Da die Restfüllmengen der Wischwassersysteme die in Deutschland gültigen Grenzwerte für eine Indirekteinleitung üblicherweise überschreiten (insbes.  $> 1 \text{ mg Cu/l}$  und  $> 1 \text{ mg AOX/l}$ ), werden sie als Abfälle entsorgt.

---

<sup>11</sup> ebenda

<sup>12</sup> Es werden zwischen 15% und 40% der insgesamt eingesetzten VOC-haltigen Reinigungsmittel für diese Prozesse eingesetzt.

## 2.6 Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte

### 2.6.1 Modell-Anlage

Als Modellanlage wird eine Kombination aus zwei Druckmaschinen gewählt, die in der Branche weit verbreitet ist, und die mit fortschrittlichen Betriebsparametern betrieben wird.

Tab. 11: Basisdaten der Heatset-Rollenoffset Modellanlage

Maschinen	2 x 32-Seiten-Heatset-Rollendruck-Anlage; je 4 Doppeldruckwerke, Bahnbreite: 1260 mm, Zylinderumfang: 890 mm; Bahngeschwindigkeit bis max. 17 m/s, durchschnittlich etwa 13 m/s bei Fortdruck Gesamtanschluss: 1.134 kW für Bahngeschwindigkeit bis 14,8 m/s; Stromverbrauch bei durchschnittlicher Bahngeschwindigkeit von 13 m/s: 996 kW davon ca.: 2 x 470 kW Anschluss Druckmaschine (2 x 295 kW Motoranschluss, 2 x 120 kW Nebenantriebe (Druckeinheit/Nebenaggregate/Steuerung), 2 x 19 kW Blasluft (Trichter/Versatzstangen), 2 x 30 kW Rollenlagerung, 2 x 6 kW Wiederbefeuungsanlage); 2 x 6 kW Anschluss Papierrollen-transportssystem; 2 x 91 kW Anschluss Kältezentrum
Produkte	Akzidenzen, z.B. Werbebeilagen, Wochenblätter
Bedruckstoff	Rollendruckpapiere mit durchschnittlich etwa 60 g/m <sup>2</sup> .
Druckfarbe	Heatsetfarbe (Dampfdruck < 0,01 kPa bei 20°C; VOC-Potenzial: 35%, tatsächlich im Trockner flüchtige Mineralölbestandteile: 90% der Mineralölbestandteile, somit ca. 30% der eingesetzten Farbmenge). Durchschnittlicher Farbauftrag je Seite: ca. 1,2 g/m <sup>2</sup>
Feuchtmittel	Wasser (max. 10°d GH), 2-8% Isopropanol (100% VOC), 3% sonst. Feuchtmittelzusätze (VOC-Anteil max. 6%)
Trockner	2 x direkt befeuert (Erdgas), Temperatur (Papierbahnaustritt): 120°-140°C, Abgasvolumenstrom ca. 7.200 Nm <sup>3</sup> /h (bei 13 m/s Fortdruck), Ventilator: 72 kW
Abgasreinigung	1 x TNV-regenerativ (Thermoreaktor), Brennkammer ca. 900°C, VOC-Zerstörungsgrad: 99%, Reingas-Austrittstemperatur ca. 140°C; Wärmetauscher: 93% thermischer Wirkungsgrad. Aufheizen mit 2.100 kW Gas, Normalbetrieb 2x700 kW Gas 2x 200 kW Strombedarf (Ventilatoren): Stromverbrauch 1.900 kW/a, Stützfeuerung ca. 15 kW Gas (bei 13 m/s; 1,2 g/m <sup>2</sup> Farbe je Seite)
Reinigungs-mittel	20 % Walzen-/Gummituchwaschmittel für händische Reinigung (100% VOC; Dampfdruck 0,05 kPa bei 20°C) und 80 % Gummituchwaschmittel für Waschanlage (0% VOC; Dampfdruck < 0,01 kPa bei 20°C) Mehrweg- Putzlappen (40gr. Trockengewicht/Stck)

[ÖKOPOL 2002]

### 2.6.2 Spezifische Verbrauchs- und Emissionswerte

#### (Haupt-Prozesse)

Für die genannte Druckanlage ergeben sich bei einem fortschrittlichen Stand der Technik die im folgenden dargestellten spezifischen Verbrauchs- und Emissionswerte. Da sich größere

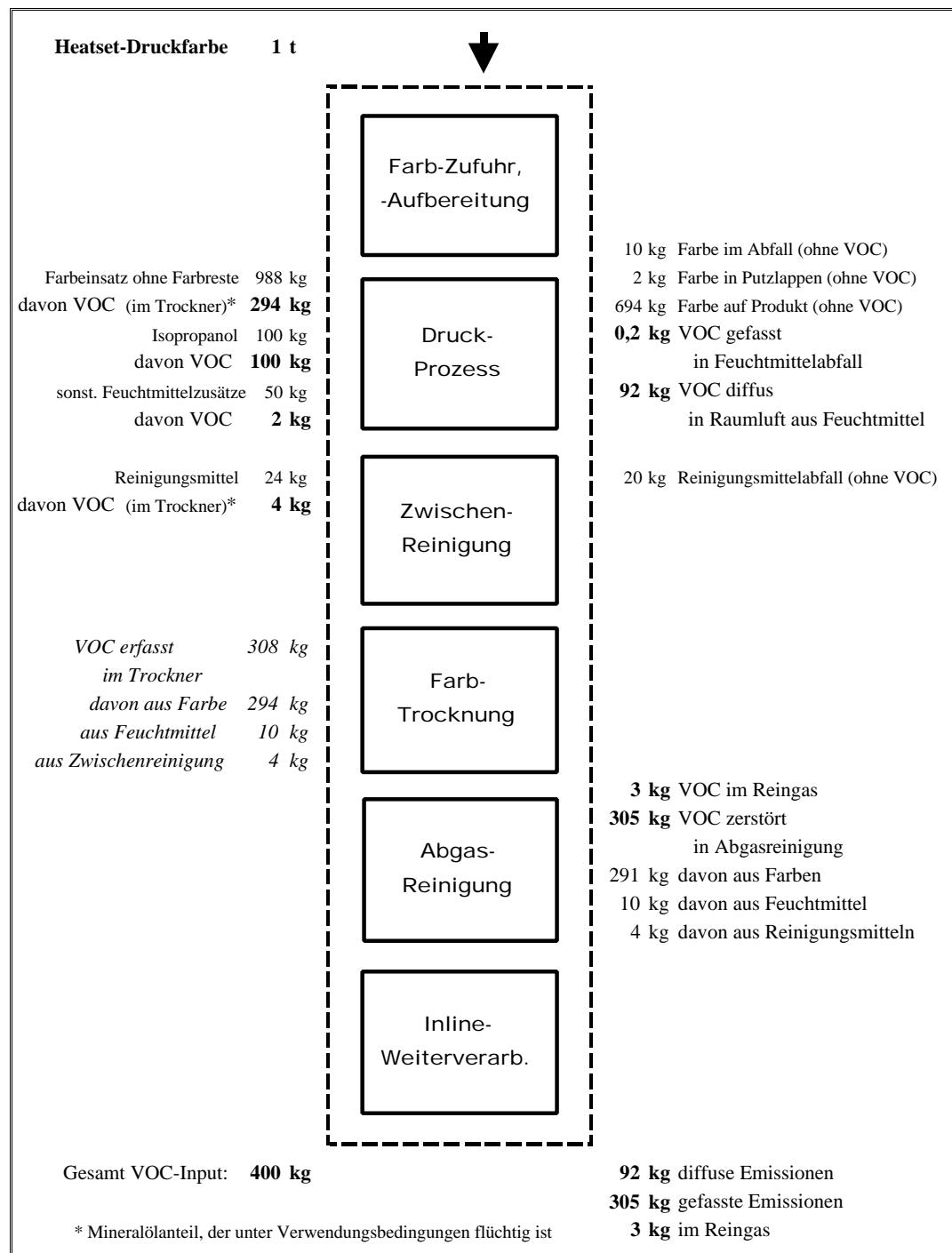
Druckanlagen üblicherweise aus mehreren Druck-Einheiten zusammensetzen, die jeweils der Modellanlage gleichen, sind die spezifischen Werte auch auf größere Anlagen übertragen.

Die spezifischen Verbrauchs- und Emissionswerte sind in signifikanten Maße von den jeweils gefertigten Produkten abhängig. Sie steigen mit:

- Sinkender Einzelauflagenhöhe,
- steigendem Einsatz von Sonderfarben (bzw. Farbreihenfolgewechseln),
- besonders hohen Anforderungen an die Druckqualität (bzw. schwierigen Druckbildern),
- geringeren Papierqualitäten.

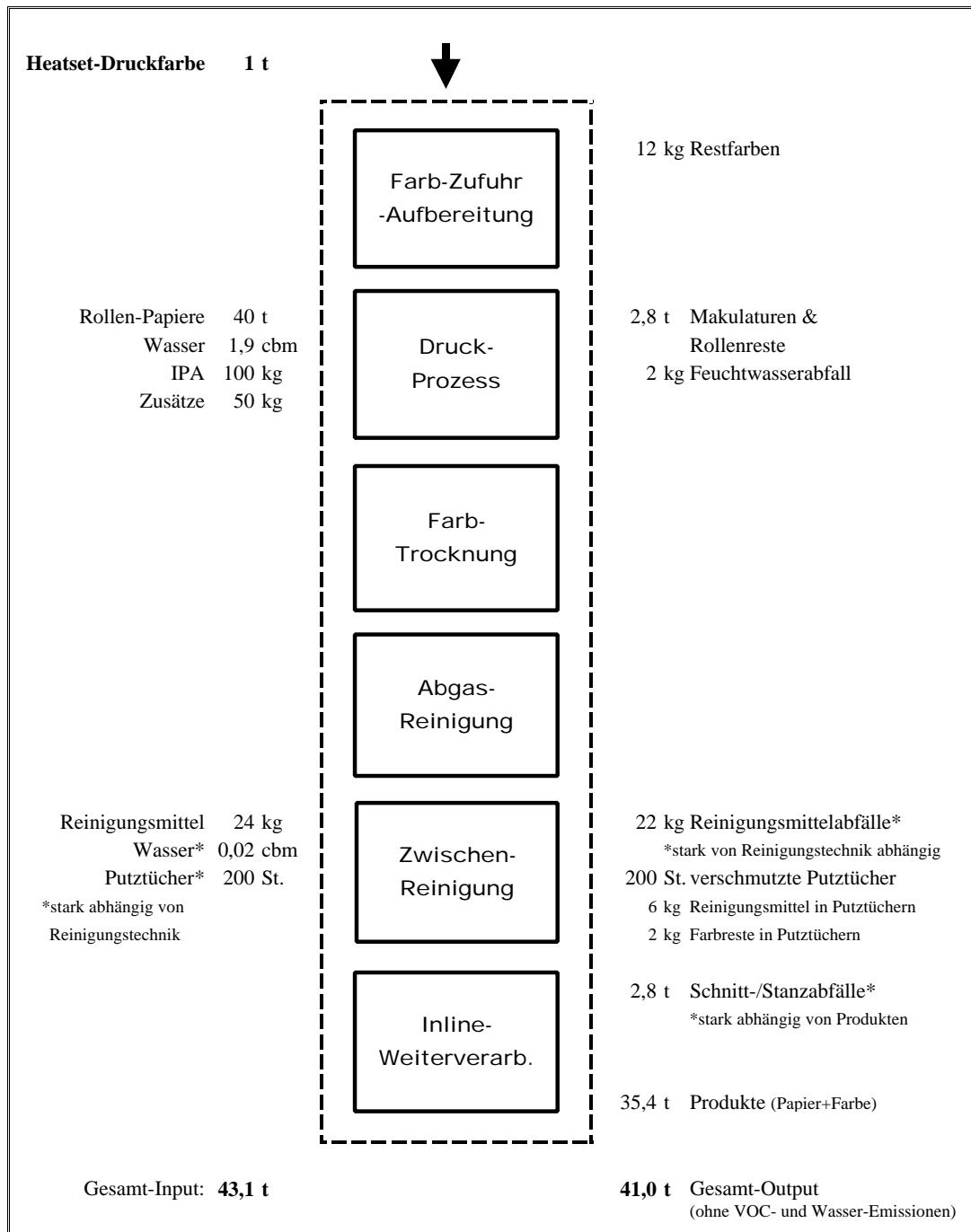
Bei den angegebenen Werten handelt es sich um Mittelwerte, die in der Praxis in Abhängigkeit von den benannten Parametern um ca. +/- 10% abweichen können.

Abb. 5: Spezifische VOC-Verbräuche und Emissionen (Mittelwerte)



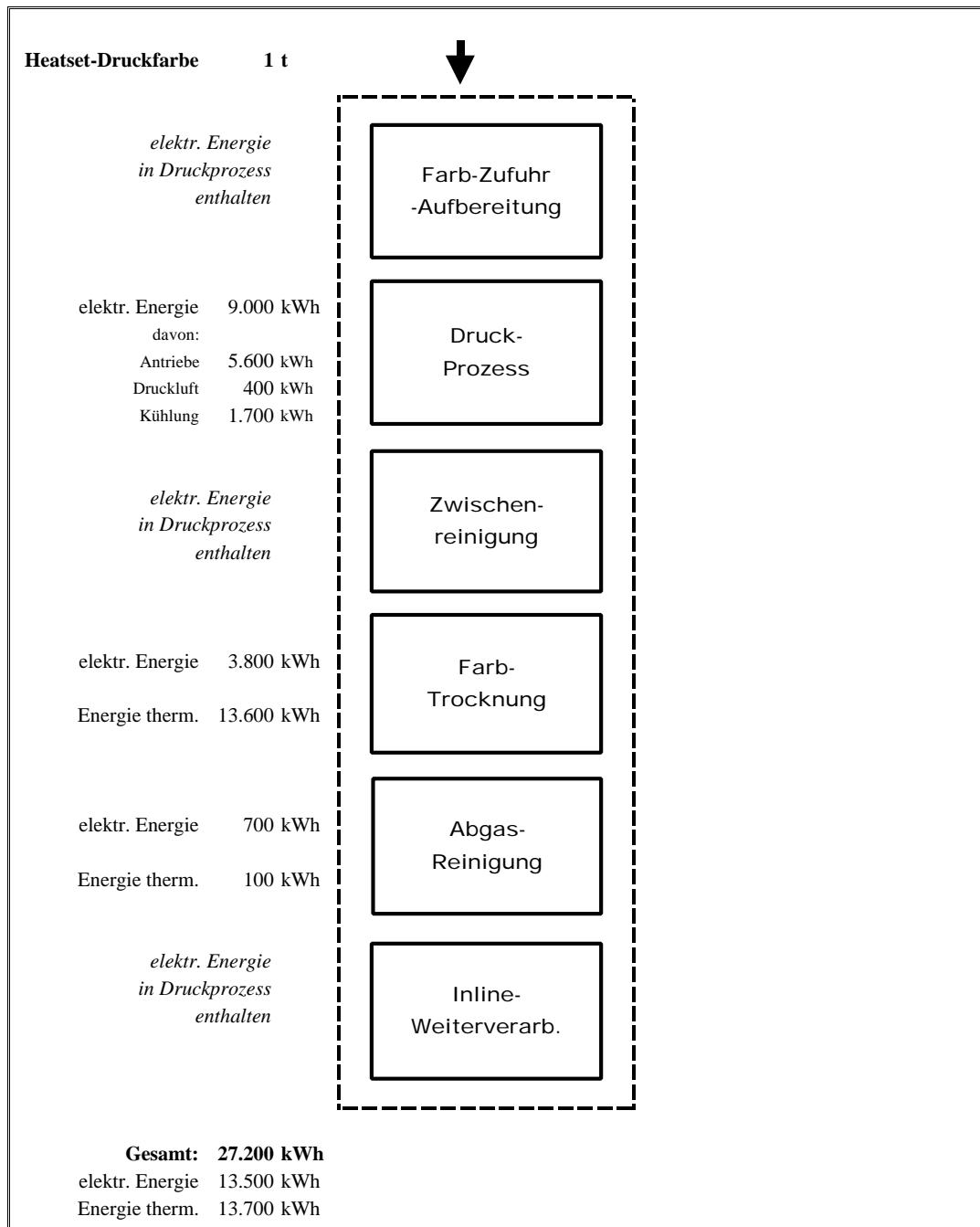
[ÖKOPOL 2002]

Abb.6: Spezifische Stoffeinsätze und Abfallmengen (Mittelwerte)



[ÖKOPOL 2002]

Abb.7: Spezifische Energieverbäuche (Mittelwerte)



[ÖKOPOL 2002]

## 2.6.3 Referenz-Anlage

Tab. 12: Produktionsbedingungen

Produktion	3-schichtig an 5,5 Wochentagen, 280 Arbeitstage * 24h = 6.700 Jahresarbeitsstunden; ca. 30% Rüst- und Hilfszeiten, ca. 70% Produktion => 4.700 Produktionsstunden der Druckmaschinen
Produkte	Ca 20.000 t/a Papiere mit ca 500 t/a Druckfarben
Feuchtwasser	950 m <sup>3</sup> /a mit ca. 50 t/a Isopropanol und sonstige Feuchtwasserzusätze ca. 25 t/a
Reinigung	ca. 15 t/a (80% für Zwischenreinigung, 20% für Grundreinigung, 100%) und ca. 100.000 Putzlappen

Tab 13: Jahres-Input-/Output Bilanz

INPUT	Menge	Einheit	Bemerkungen	OUTPUT	Menge	Einheit	Bemerkungen
<b>PRODUKTE</b>							
				Akzidenzprodukte	18.000	t/a	Papier und Farbe
<b>ABFALL</b>							
Bedruckstoff	20.000	t/a		Altpapier/Makulatur	2.800	t/a	
Druck-Farben	500	t/a	Mineralölanteil der Farbe 35%, davon 85% im Trockner flüchtig (=30% des Farbeinsatzes)	Farbreste	6	t/a	als Farbabfall und in Putzlappen enthalten, keine VOC
Feucht mittel	950	t/a	ohne VOC				
Isopropanol	50	t/a	100% VOC	Feuchtmittelreste	2	t/a	VOC-Gehalt 4%
Feuchtwasser-Zusatz	25	t/a	mit 5% VOC-Anteil (1 t VOC/a)				
Reinigungsmittel	15	t/a	80% VOC-frei für Zwischenreinigung 20% V für Grundreinigung	Reinigungsmittel-Wasser-Gemisch	23	t/a	Lösungsmittel-Anteil 50% (keine VOC, da Hochsiedereinsatz)
Putzlappen	100.000	Stck/a	übliche Mehrweglappen Gewicht ca. 40 g/Stück	Putzlappen	100.000	Stck/a	beladen mit 1 t Druckfarbe und ca. 3 l Reinigungsmittelabfällen und Feuchtwasserabfällen
VOC gesamt	203	t/a		VOC im Abfall	2	t/a	in Lappen, Reinigungsmittelabfällen und Feuchtwasserabfällen
<b>ABGAS</b>							
Energie gesamt	27.100	MWh/a		Volumenstrom	67.700.000	cbm/a	19 mg VOC/m <sup>3</sup>
Energie Gas	13.700	MWh/a		VOC im Reingas	1,3	t/a	
Energie elektr.	13.400	MWh/a		NO <sub>x</sub> im Reingas	2,7	t/a	
davon: Druckm.	8.900	MWh/a		CO im Reingas	3,4	t/a	
Kühlung	1.700	MWh/a		Diffus			
Abgasreinigung	700	MWh/a		VOC diffus	47	t/a	

[ÖKOPOL 2002]

Tab 14: Abfall-Kennwerte der Referenzanlage

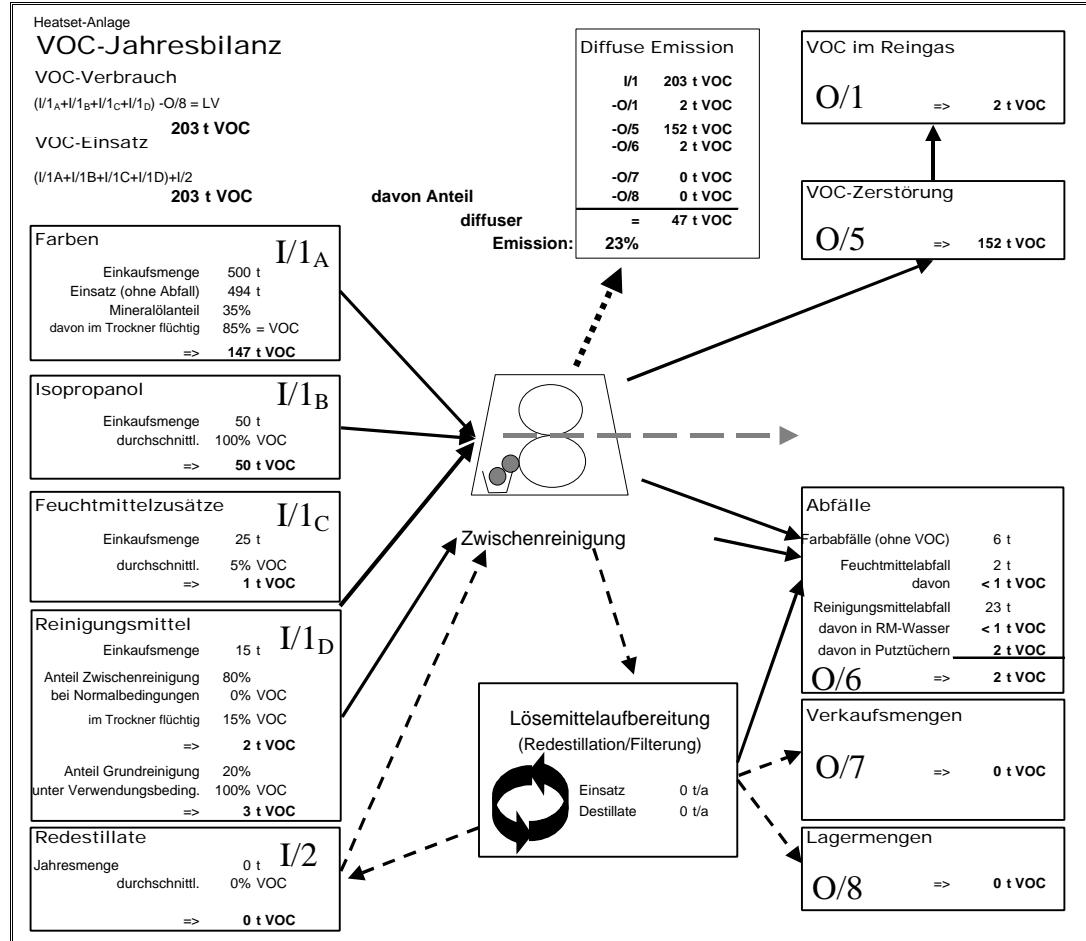
Vorstufe		Druck/Weiterverarbeitung	
Druckplattenabfall (von Auflagenhöhe abhängig)	ca. 0,04 – 0,09 t / t Farbeinsatz	Papierabfälle	ca. 10 – 20 %
Entschichterabfall	ca. 0,1 – 0,2 l / m <sup>2</sup> Druckplatte	Farbabfälle	ca. 1 – 3 %
Spülwasser	ca. 5 – 15 l / m <sup>2</sup> Druckplatte	Feuchtwasserabfall	ca. 0,002 m <sup>3</sup> / t Farbeinsatz
		Putzlappenanzahl	ca. 200 Stück / t Farbeinsatz
		Putzlappenbeladung	10 g Farbe / Stück, 30 g Reinigungsmittel / Stück
		Reinigungsmittelabfall	keine Durchschnittswerte möglich

[ÖKOPOL 2002; ÖKOPOL/ B.A.U.M., 1997]

## VOC-Emissionsbilanz

Für die beschriebene Referenz-Anlage ergibt sich die in der folgenden Abbildung dargestellte VOC-Bilanz.

Abb. 8: VOC-Bilanz der Referenz-Anlage



[ÖKOPOL 2002]

Die Bilanzierung zeigt, dass mit dieser Anlage die Anforderungen der EG-Lösemittelrichtlinie hinsichtlich der diffusen Emissionen eingehalten werden können:

- ⇒ Emissionsgrenzwert für gefasste, behandelte Abgase = 20 mg C/cbm (bei Lösemittelverbrauch >25 t VOC/a)
- ⇒ Grenzwert für diffuse Emissionen = 30% vom VOC-Einsatz

Die Referenz-Anlage repräsentiert hier eine fortschrittliche Heatsetdruckanlagen.

## 2.7 BVT-Kandidaten

### 2.7.1 Zusammenfassende Darstellung

In der folgenden Tabelle sind, geordnet nach den Prozessstufen, geeignete BVT-Kandidaten für Heatset-Rollenoffsetdruckanlagen aufgeführt.

Tab. 15: BVT-Kandidaten Heatset-Rollenoffsetdruck

Nr.	Maßnahme	Prozess	Umwelteffekt
H-1	Hochsiedereinsatz zur Reinigung	Druck (Zwischenreinigung), Grund- und Teilereinigung	Verminderter VOC-Einsatz, verminderte VOC-Luftemission, erhöhter Abfallanfall
H-2	Verbesserte Handhabung bei Reinigung	Druck (Zwischenreinigung), Grund- und Teilereinigung	Verminderter VOC-Einsatz, verminderte VOC-Luftemission
H-3	Waschanlagen für Gummituchzylinder	Druck (Zwischenreinigung)	Verminderter VOC-Einsatz, verminderte VOC-Luftemission, veränderter Abfallanfall, erhöhter Energiebedarf
H-4	Umstellung auf wasserlosen Offsetdruck	Druck (Feuchtmittelsystem)	Verminderter VOC-Einsatz, verminderter Wasser-Einsatz, verminderte VOC-Luftemission, verminderte Wasser-Emission
H-5	IPA-Reduzierung	Druck (Feuchtmittelsystem)	Verminderter VOC-Einsatz, verminderte VOC-Luftemission
H-6	IPA-Messung und -Dosierung (kontinuierlich mit Infrarot oder Ultraschall)	Druck (Feuchtmittelsystem)	Verminderter VOC-Einsatz, verminderte VOC-Luftemission
H-7a	IPA-Ersatzstoffe	Druck (Feuchtmittelsystem)	Verminderter VOC-Einsatz, verminderte VOC-Luftemission
H-7b	Hydrophile Spezialwalzen	Druck (Feuchtmittelsystem)	Verminderter VOC-Einsatz, verminderte VOC-Luftemission
H-7c	Kombination von IPA-Ersatzstoffen und hydrophilen Spezialwalzen	Druck (Feuchtmittelsystem)	Verminderter VOC-Einsatz, verminderte VOC-Luftemission
H-7d	Wasseraufbereitung als Ergänzung der Maßnahmen 150-7a bis 150-7c	Druck (Feuchtmittelsystem)	Verminderter VOC-Einsatz, verminderte VOC-Luftemission, erhöhter Energiebedarf, erhöhter Abfallanfall
H-8	Automatische Farbversorgung für häufig genutzte Farben bzw. Lacke	Druck (Farbwerk)	Verminderter Abfallanfall, erhöhter Energiebedarf
H-9a	Abgasreinigung regenerativ	Abgasreinigung	verminderter Energiebedarf
H-9b	Abgasreinigung im Trockner integriert	Trockner, Abgasreinigung	verminderter Energiebedarf

[ÖKOPOL 2002]

## 2.7.2 Kurzbeschreibung der BVT-Kandidaten

### H-1 Hochsiedereinsatz zur Reinigung

Durch die Umstellung auf Reinigungsmittel mit einem niedrigen Dampfdruck (umgangssprachlich „hochsiedende Reinigungsmittel“) werden die VOC-Emissionen aus den umweltoffenen Reinigungsarbeiten deutlich vermindert. Das sind Reinigungsmittel, die Lösungsmittel auf Mineralöl- oder Pflanzenbasis mit einem Flammpunkt von mehr als 85°C enthalten. Der Dampfdruck beträgt

- bei Reinigungsmitteln auf Pflanzenölbasis deutlich unter 0,01 kPa. Diese Mittel sind somit keine VOC nach Definition der 31. BImSchV.
- bei hochsiedenden Reinigungsmitteln auf Mineralölbasis bei 0,002 - 0,03 kPa. Das heißt, nur bei wenigen dieser Mittel (solche mit Dampfdruck > 0,01 kPa) handelt es sich um VOC.
- bei hochsiedenden AIII-Reinigern mit einem Flammpunkt > 85°C liegt der Dampfdruck zwischen 0,01 und 0,1 kPa; es handelt sich somit um VOC im Sinne der 31. BImSchV.

Trotz des unterschiedlichen Dampfdruckes und der damit verbundenen Einstufungen als VOC oder Nicht-VOC führt der Einsatz der benannten Reiniger durchgehend zu einer deutlichen Verminderung der VOC-Emissionen gegenüber der Ist-Situation, in der überwiegend niedrig siedende AIII-Mittel und All-Mittel zum Einsatz kommen.

Als Umsetzungsproblem ist insbesondere die andersartige Handhabung zu benennen, die Verhaltensänderungen und somit eine Umstellungsbereitschaft beim Personal erfordert. Die Mittel sind teurer aber auch ergiebiger als Niedrigsieder, da sie eine höhere Reinigungskraft besitzen, nicht verdunsten und bis zu 50% mit Wasser gemischt eingesetzt werden können.

Die andersartige Handhabung ist durch die geringe Flüchtigkeit der Mittel begründet. Zum einen bedeutet dies, dass ein etwas erhöhter Zeitaufwand zur Reinigung erforderlich ist (längere Einwirkzeit und zusätzliches Nachwaschen mit Wasser notwendig), zum anderen ist bei der Handreinigung größere Sorgfalt notwendig, da versehentlich in die Maschine gelangende Tropfen zu Korrosion, Beschädigungen der Druckplatte und Störungen des Farb-Wasser-Gleichgewichtes führen können.

Bei unsachgemäßer Anwendung (Tropfverluste) besteht beim Einsatz von Hochsiedern erhöhte Rutschgefahr an der Maschine, der jedoch durch Sorgfalt und Vorsichtsmaßnahmen begegnet werden kann.

Technische Probleme gibt es teilweise beim Einsatz in automatischen Waschanlagen älteren Baujahres (vor 1996). Diese Anlagen müssen zum Teil an die Hochsieder angepasst werden.

Typische Anpassungen bestehen in kleineren Dosiermengen (wg. der erhöhten Waschkraft), in anderen Sprühöffnungen (wg. der erhöhten Viskositäten) und in anderen Kunststoffen oder Gummidichtungen (wg. der Materialverträglichkeit insbesondere beim Einsatz von vegetabilen Reinigern).

Bei automatischen Waschanlagen mit Baujahr vor 1996 ist der Einsatz von Hochsiedern aus diesen Gründen teilweise nur mit unverhältnismäßig hohen Nachrüstungskosten möglich, da z.B. die Dosiermenge an der Waschanlage aufgrund zu großer Leitungsquerschnitte nicht genügend minimiert werden kann oder an der Steuerung keine ausreichende Nachwäsche mit Wasser einstellbar ist.

Durch die Maßnahme kommt es neben der VOC-Reduktion in untergeordnetem Maße zu einer Belastung auf der Abfall- oder Abwasserseite. Beim Einsatz von Hochsiedern in automatischen Waschanlagen fallen im Vergleich zum Einsatz von niedrigsiedenden Reinigungsmitteln aufgrund des erforderlichen Nachwaschens mit Wasser höhere Abfallmengen an, die entsorgt oder aufbereitet werden müssen. Die Aufbereitung der Lösemittel-Wasser-Abfälle kann durch eine hausinterne oder -externe Lohn-Filtration erfolgen, wobei die Reinigungsmittel zurückgewonnen und wiederverwendet werden können. Im Fall einer Aufbereitung kann das verbleibende Abwasser in der Regel in die Kanalisation abgeleitet werden; die geringen Restschlammengen müssen als Abfall entsorgt werden.

## H-2 Verbesserte Handhabung bei der Reinigung

Durch Sicherstellung eines ordnungsgemäßen Verschlusszustandes von Lösemittel- und Putztuchbehältern können VOC-Emissionen vermieden werden. Der sparsame Umgang mit Reinigungsmitteln bei der händischen Maschinenreinigung führt zur Verbrauchsminderung, da Tropf- und Verdunstungsverluste vermieden werden.

Das Wissen der Belegschaft über die (Gesundheits- und Umweltschutz-)Vorteile einer sorgfältigen Handhabung ist die wichtigste Voraussetzung für die Umsetzung der Maßnahme. Neben mangelndem Wissen behindert auch mangelnde Bereitschaft der Belegschaft die Umsetzung der Maßnahme.

## H-3 Waschanlagen für Gummituchzylinder

Durch den Einbau automatischer Waschanlagen für Gummituchzylinder ist eine effizientere Reinigung möglich, so dass der Reinigungsmittel-Verbrauch verringert wird und entsprechend geringere VOC-Emissionen entstehen.

Als Umsetzungsproblem ist insbesondere der hohe Investitionskostenbedarf bei der Nachrüstung von Altanlagen zu benennen. Ein weiterer Nachteil sind die ggf. erhöhten Abfallmengen

(flüssige Lösemittel-Rückstände oder mit Lösemitteln verunreinigte Tuchbahnen). Als Vorteil ist zu sehen, dass die Hilfszeiten zur Maschinenreinigung deutlich verringert werden können.

Durch die Maßnahme kommt es neben der VOC-Reduktion zu einem erhöhten Stromverbrauch und in untergeordnetem Maße zu einer Verlagerung der Abfallmengen: Anstelle von Putzlappen, die mit Reinigungsmittel und Farbresten beladen sind, fallen verstärkt flüssige Abfälle oder (systembedingt) verunreinigte Tuchbahnen als neue Abfallfraktionen an. Beim Einsatz von niedrigsiedenden Reinigungsmitteln mit einem Flammpunkt bis 55°C können anfallende Lösemittel-Wasser-Gemische durch Destillation aufbereitet werden; beim Einsatz von Reinigungsmitteln mit einem Flammpunkt von mehr als 55°C bietet sich alternativ die Möglichkeit einer Aufbereitung der anfallenden Lösemittel-Wasser-Gemische durch Filtration an.

Insgesamt sind die weiteren Umweltwirkungen als relativ geringfügig einzustufen.

#### H-4 Umstellung auf wasserlosen Offsetdruck

Die Umstellung auf das wasserlose Offsetdruckverfahren vermeidet vollständig die VOC-Emissionen aus den Feuchtwassersystemen. Dies betrifft vorrangig die IPA-Emissionen aus dem Feuchtwasser, untergeordnet aber auch die VOC-Emissionen aus Mitteln zur Reinigung der Feuchtwalzen.

Als Umsetzungsprobleme sind insbesondere der Investitionskostenbedarf und die erhöhten Betriebskosten durch höhere Druckplattenkosten sowie eine monopolartige Anbieterstruktur dieser Technologie zu benennen, sowie drucktechnische Probleme in der Druckplatte/Farbe-Wechselwirkung und mechanische Resistenz der Plattenoberflächen.

Bei der Umstellung ist eine Investition in eine gesonderte Druckplattenentwicklungsmaschine notwendig. Durch die dann ggf. zweigleisige Vorlagenproduktion entsteht beim parallelen Betrieb von wasserlosen und wasserverbrauchenden Druckanlagen ein zusätzlicher Produktionsplanungsaufwand. Der andersartige Druckplattenaufbau führt zu einer geänderten Art der Nachkorrekturmöglichkeiten der Platten. Dies erfordert die Unterweisung der Mitarbeiter und eine entsprechende Umstellungsbereitschaft.

Bei der im Heatsetdruck üblichen Auflagenhöhe erfordert der Wasserlosoffsetdruck eine Farbwerktemperierung in den Druckanlagen, da sonst keine Prozessstabilität gewährleistet ist.

Einschränkungen bei der Auswahl der im Heasetdruck verarbeitbaren Bedruckstoffe bestehen beim Einsatz einer Temperierung nicht. Als positiver Effekt ist anzuführen, dass mit dieser Drucktechnik eine höhere Farbbrillanz, d.h. bei bestimmten Druckmotiven eine höhere Druckqualität, erreichbar ist. Da keine Optimierung des Farb-Wasser-Verhältnisses eingestellt werden muss, wäre ein geringerer Makulaturanfall denkbar, der in der Paxis nur schwer bestätigt wer-

den kann. Dieser Vorteil könnte insbesondere beim Einsatz von wenig saugfähigen und teuren Bedruckstoffen zu relevanten Kostenersparnissen führen.

Durch die Maßnahme kommt es neben der VOC-Reduktion in untergeordnetem Maße zu einer Entlastung auf der Abwasserseite, da keine verworfenen Feuchtwassersysteme aus der Grundreinigung der Maschinen mehr anfallen. Auf der anderen Seite steht ein etwas erhöhter Energieverbrauch durch die gegebenenfalls zusätzlich installierte Farbwerktemperierung.

Insgesamt sind die weiteren Umweltwirkungen jedoch als geringfügig einzustufen.

Derzeit existiert in Deutschland keine Heatset-Rollenoffsetanlage, die auf das Verfahren umgestellt wurde. Die benötigten Spezial-Druckplatten sind derzeit von drei Herstellern beziehbar. Dabei ist der Druckplattenpreis zur Zeit etwa 2-3-fach höher als bei konventionellen Platten. In der Vergangenheit wurde bereits mehrfach die Markteinführung weiterer Konkurrenzprodukte angekündigt. Aufgrund des derzeit geringen Marktvolumens sind die entsprechenden Hersteller jedoch wieder zurückgetreten. Als weiteres Problem wird von Praktikern die etwas geringere Auflagenfestigkeit der Druckplatten bei Auflagen größer ca. 100.000 Drucke angeführt.

## H-5 IPA-Reduzierung

Die Reduzierung des Isopropanolgehaltes im Feuchtmittel verringert die VOC-Emissionen aus den Feuchtmittelsystemen.

Wenn der IPA-Gehalt ohne Qualitätseinbußen auf ein Minimum eingestellt werden soll, ist eine drucktechnische Feinanpassung notwendig. Dies erfordert insbesondere eine genaue Einstellung der Walzen zueinander sowie eine hohe Sauberkeit des Feuchtmittelsystems. Bei der Minderung des IPA-Gehaltes steigen die Anforderungen an die Mitarbeiter. Es können Anpassungsprobleme auftreten, da mit einer Reduzierung des IPA-Gehaltes die Gefahr instabiler Farb-Wasser-Gleichgewichte erhöht wird, was eine geringe Zunahme der Tonwerte bewirken kann. Dies kommt vor allem dann zum Tragen, wenn an der betreffenden Maschinen keine genaue IPA-Messung erfolgt und daher nicht festgestellt werden kann, wenn die Dosiereinrichtung nicht exakt funktioniert (z.B. aufgrund von Verschmutzungen). Teilweise ist eine Reduzierung nicht ohne technische Modifikationen (Walzenkühlung, andere Walzenbezüge bzw. Walzenoberflächen) oder den Einsatz veränderter Feuchtmittelzusätze möglich.

## H-6 IPA-Messung und -Dosierung (kontinuierlich mit Infrarot oder Ultraschall)

Die kontinuierliche Messung des IPA-Gehaltes im Feuchtmittel vermeidet einen Teil der VOC-Emissionen aus den Feuchtmittelsystemen durch einen optimal einstellbaren minimalen IPA-Gehalt. Die kontinuierliche Messung ist mit einem Infrarot-Messgerät oder einem Ultraschall-

Messgerät möglich, bei denen der Isopropanolgehalt mit einer Genauigkeit von  $\pm 0,5\%$  gemessen wird.

Die Bestimmung des IPA-Gehaltes erfolgt bei der Infrarot- und der Ultraschallmessung wesentlich unabhängiger von den bei einer Dichtemessung mittels Spindel üblichen Einflussfaktoren durch Feuchtmittelzusätze, Wasserhärte und Verschmutzungen des Feuchtmittels. Die bei Spindelmessungen mögliche Verfälschung des Meßergebnisses bei Temperaturen ober- oder unterhalb der Eichtemperatur werden durch eine parallele Temperaturmessung ausgeschlossen.

Als Umsetzungsproblem ist der Investitionsbedarf zur Anschaffung der genauen Mess- und Dosiereinrichtung zu benennen. Es ist jedoch auch möglich, Neumaschinen ohne Aufpreis mit einer genauen automatischen Mess- und Dosiereinrichtung zu erwerben. Dem Nachteil der hohen Investitionskosten steht der Vorteil gegenüber, dass unerwünschte Betriebszustände (z.B. durch defekte oder verschmutzte Dosiereinrichtungen) unmittelbar ausgeglichen bzw. gemeldet werden und mit einer hohen Prozesssicherheit gedruckt werden kann.

Wenn der IPA-Gehalt ohne Qualitätseinbußen auf ein Minimum eingestellt werden soll, ist eine drucktechnische Feinanpassung notwendig (genaue Walzeneinstellung, Sauberkeit des Feuchtwassersystems), was gesteigerte Anforderungen an die Mitarbeiter stellt. Durch die automatische, genaue Dosierung wird die Prozesssicherheit erhöht. Dadurch wird die Gefahr durch instabile Farb-Wasser-Gleichgewichte und Zunahme der Tonwerte vermindert. Teilweise ist eine IPA-Reduzierung nicht ohne technische Modifikationen (Walzenkühlung, andere Walzenbezüge/Walzenoberflächen) oder den Einsatz veränderter Feuchtmittelzusätze möglich.

#### H-7a IPA-Ersatzstoffe

Der Einsatz spezieller Feuchtmittelzusätzen erlaubt bei gleichem Druckergebnis eine weitere Reduzierung des IPA-Gehaltes und führt somit zu geringeren VOC-Emissionen aus dem Feuchtwassersystem.

Wenn der IPA-Gehalt ohne Qualitätseinbußen mit Ersatzstoffen auf ein Minimum eingestellt werden soll, ist wie bei Maßnahme H-6 eine drucktechnische Feinanpassung notwendig (genaue Walzeneinstellung, Sauberkeit des Feuchtmittelsystems). Dies stellt gesteigerte Anforderungen an die Mitarbeiter. Eine Zunahme instabiler Farb-Wasser-Gleichgewichte und der Tonwerte ist möglich.

Der Einsatz von zusätzlichen Arbeitsstoffen, deren öko- und humantoxische Wirkungen noch relativ unerforscht waren, konnte bei den Mitarbeitern die Umstellungsbereitschaft mindern (teilweise sind z.B. Hautreizungen bekannt geworden). Diese Problematik ist heute kaum noch relevant.

Die Maßnahme erfordert einen hohen technischen Beratungsaufwand, um die Betriebe von den Vorteilen der Mittel zu überzeugen, Vorurteile auszuräumen und Unterstützung bei betriebsspezifischen Problemen zu gewähren.

#### H-7b Hydrophile Spezialwalzen

Alternativ oder ergänzend zum Einsatz von Isopropanol-Ersatzstoffen kann der Einsatz von Feuchtwalzen mit besonders hydrophilen Oberflächen erfolgen. Es können Oberflächen aus Keramik oder Spezialgummi verwendet werden. Die Maßnahme erlaubt ebenso wie Maßnahme H-7a bei gleichem Druckergebnis eine weitere Reduzierung des IPA-Gehaltes und führt somit zu geringeren VOC-Emissionen aus dem Feuchtwassersystem.

Wenn der IPA-Gehalt ohne Qualitätseinbußen mit besonders hydrophilen Spezialwalzen auf ein Minimum eingestellt wird, ist wie bei Maßnahme H-6 und H-7a eine drucktechnische Feinpassung notwendig (genaue Walzeneinstellung und Sauberkeit des Feuchtwassersystems), was gesteigerte Anforderungen an die Mitarbeiter stellt. Eine Zunahme instabiler Farb-Wasser-Gleichgewichte und der Tonwerte ist möglich.

#### H-7c Kombination von IPA-Ersatzstoffen und hydrophilen Spezialwalzen

Der kombinierte Einsatz von Isopropanol-Ersatzstoffen und besser benetzbaren Feuchtwalzen erlaubt bei gleichem Druckergebnis eine deutliche Reduzierung des IPA-Gehaltes und führt somit zu geringeren VOC-Emissionen aus dem Feuchtwassersystem.

Wenn der IPA-Gehalt ohne Qualitätseinbußen auf ein Minimum eingestellt wird, ist wie bei Maßnahme H-6 eine drucktechnische Feinpassung notwendig (genaue Walzeneinstellung, Sauberkeit des Feuchtwassersystems), was gesteigerte Anforderungen an die Mitarbeiter stellt. Eine Zunahme instabiler Farb-Wasser-Gleichgewichte und der Tonwerte ist möglich.

Die Investitionskosten für die Feuchtmittelkühlung sind nur dann wirksam, wenn thermische Effekte zu den limitierenden Faktoren bei der IPA-Reduzierung gehören.

#### H-7d Ergänzung der genannten Maßnahmen um eine Wasseraufbereitung

Die Prozesswasseraufbereitung ist beim Vorhandensein von Leitungswasser mit hohen oder schwankenden Härtegraden eine wichtige Ergänzung der Maßnahmen Nr. H-7a bis H-7c, da sie die Prozessstabilität bei gleichem Druckergebnis erhöht und die Reduzierung des IPA-Gehaltes mit einer höheren Sicherheit ermöglicht. Die Maßnahme führt zu geringeren VOC-Emissionen aus dem Feuchtwassersystem, wenn sie in Kombination mit dem Einsatz von IPA-Ersatzstoffen und dem Einbau besser benetzbarer Feuchtwalzen erfolgt.

Die Maßnahme ist in Abhängigkeit von der Leitungswasserqualität mit erhöhten Kosten für Energie und Hilfsstoffe verbunden.

#### H-8 Automatische Farbzuführung für häufig genutzte Farben bzw. Lacke

An Heatsetanlagen werden fortlaufend die drei Skalafarben und Schwarz eingesetzt, so dass deren Zuführung in die entsprechenden Farbwerke aus 1.000 m<sup>3</sup>-Containern über eine druckluftbetriebene Rohrleitungsanlage zu reduzierten Abfallmengen führt und verringerte Handhabungszeiten bewirkt. Auch bei häufigem Lackeinsatz bringt die automatische Zuführung die oben genannten positiven Effekte mit sich. Die automatische Farbzuführung ist mit Investitionskosten verbunden, die sich über die Kostenreduzierung bei der Handhabung und beim Einkauf größerer Farbmengen in kurzer Zeit amortisieren lassen.

#### H-9a Abgasreinigung regenerativ

Eine effizientere Nutzung der Abgaswärme als bei der thermischen bzw. rekuperativ-thermischen Abgasreinigung erfolgt in regenerativen Abgasreinigungsanlagen. Diese nutzen einen Wärmespeicher, über den das heiße Reingas nach der Brennkammer strömt und dabei seine Wärme an das Füllmaterial abgibt. Im Takt von 0,5 bis 3 Minuten wird das heiße Reingas dann vom ersten Wärmespeicher weg über einen zweiten Wärmespeicher umgeleitet. Gleichzeitig kann jetzt über den bereits vorgeheizten ersten Wärmespeicher das Rohgas aus dem Trockner in Gegenrichtung strömen. Dadurch nimmt es die Wärme aus dem Speichermedium auf und wird auf über 700°C erhitzt in die Brennkammer geführt.

Wenn der aufgeheizte Wärmetauscher einen Großteil der gespeicherten Wärme und seine Temperatur sich dabei der Rohgastemperatur angenähert hat, wird wieder umgeschaltet, so dass das heiße Reingas den Wärmespeicher erneut erhitzen kann und das Rohgas im zwischenzeitlich erhitzten Wärmetauscher vorgeheizt wird. Somit kann der zusätzliche Gasbedarf in der Brennkammer minimal gehalten werden, selbst wenn im Abgas nur eine geringe Lösungsmittelkonzentration vorliegt. Bereits ab 1,5 g/m<sup>3</sup> können die Anlagen autotherm arbeiten.<sup>13</sup> Die Vorheizung der Wärmespeicher vor Produktionsbeginn benötigt einen relativ hohen Energieaufwand, so dass das System lediglich beim 3-Schicht-Betrieb sinnvoll einsetzbar ist. Auch die Stromkosten für die Abgasförderung durch den Füllkörper sind aufgrund der Druckverluste relativ hoch, es sei denn es werden laminar durchströmte Füllmassen (Wabenkörper) eingesetzt, die mit höheren Investitionskosten verbunden sind.

---

<sup>13</sup> Rafflenbeul 1998

Die Verwendung von katalytisch wirkendem Festbettmaterial (Nickel-, Kupfer-, Vanadium-Verbindungen, Mangan, Chrom, Eisen, Platin, Palladium) bewirkt bei der Abgasreinigung, dass die Oxidationsreaktion beschleunigt wird, so dass bereits bei Verbrennungstemperaturen von 300°-500°C effektive Reinigungsergebnisse erzielt werden können. Daher sind diese Systeme ab einer Lösemittelkonzentration von mehr als 4 g/m<sup>3</sup> im Rohgas bereits in der Regel wirtschaftlicher zu betreiben. Der Einsatz von Katalysatoren kann mit dem Einsatz von Wärmespeichermedien kombiniert werden, so dass beide Effekte ausgenutzt werden. Da in Heatset-Rollenoffsetdruckanlagen jedoch in der Regel Silikon zum Einsatz kommt, das beim Kontakt mit den Metallen als "Katalysatorgift" wirkt und die Oxidationsreaktion am Katalysators herabsetzt bzw. verhindert, kann die katalytische und regenerativ-katalytische Abgasreinigung in Heatsetdruckanlagen in der Regel nicht problemlos eingesetzt werden.

#### H-9b Abgasreinigung im Trockner integriert

Bei der Integration der Abgasreinigungsanlage in den Trockner kann die hohe Temperatur der Abgase nach der Brennkammer dazu genutzt werden, die Heizluft im Trockner zu erzeugen. Somit kann der Energiebedarf zur Heizung des Trockners wesentlich reduziert werden.

Die integrierte Abgasreinigung ist beim Einsatz mehrerer Maschinen mit einem gegenüber der zentralen Abgasreinigungsanlage erhöhten Investitionsaufwand verbunden. Andererseits hängt die Betriebssicherheit einzelner Druckmaschinen bei einer derartigen Anlagenkonstruktion jedoch nicht mehr vom Betriebszustand einer einzigen Abgasreinigungsanlage ab. Während Wartungs- und anderen Stillstandszeiten einer integrierten Anlage können die anderen Druckmaschinen aufgrund ihrer eigenständigen Abgasreinigungsanlage weiter betrieben werden.

### 2.7.3 Bewertung der BVT-Kandidaten

Die folgende Tabelle zeigt eine schematische Kurzbewertung der skizzierten BVT-Kandidaten.

Tab. 16: Bewertung der BVT-Kandidaten für den Heatset-Rollenoffsetdruck

Nr.	Maßnahme	L	W	A	E	R	Zusatzkosten	Hemmnisse
H-1	Hochsiedereinsatz zur Reinigung	?	?	?	-	-	selbsttragend - bei Altanlagen hoch	MA-Schulung und Motivation,
H-2	Verbesserte Handhabung bei Reinigung	?	-	-	-	?	Kostenersparnis	MA-Motivation
H-3	Waschanlagen für Gummitychzylinder	?	-	-	?	?	Kostenersparnis durch Hilfszeitenreduzierung	Invest-Mittel
H-4	Umstellung auf wasserlosen Offsetdruck	?	?	?	?	?	hoch (bei Altanlagen)	Invest-Mittel, MA-Schulung, Druckplattenhersteller-Monopol
H-5	IPA-Reduzierung	?	-	-	-	?	Kostenersparnis	MA-Schulung und Motivation
H-6	IPA-Messung und -Dosierung (kontinuierlich mit Infrarot oder Ultraschall)	?	-	-	-	?	selbsttragend - gering (bei Altanlagen)	Invest-Mittel, MA-Schulung und Motivation
H-7a	IPA-Ersatzstoffe	?	?	-	-	-	selbsttragend	MA-Schulung und Motivation
H-7b	IPA-Reduzierung durch hydrophile Spezialwalzen	?	-	-	-	-	hoch (bei Altanlagen)	Invest-Mittel MA-Schulung
H-7c	Kombination von IPA-Ersatzstoffen und hydrophilen Spezialwalzen	?	?	-	-	-	gering – hoch (bei Altanlagen)	Invest-Mittel, MA-Schulung und Motivation
H-7d	Wasseraufbereitung als Ergänzung der Maßnahmen H-7a bis H-7c	?	-	?	?	-	gering – hoch (bei Altanlagen)	Invest-Mittel, MA-Schulung und Motivation
H-8	Automatische Farbzuführung häufig genutzter Farben	-	-	?	-	?	selbsttragend - gering (bei Altanlagen)	Invest-Mittel
H-9a	Abgasreinigung regenerativ	-	-	-	?	?	hoch (bei Altanlagen)	Invest-Mittel
H-9b	Abgasreinigung im Trockner integriert	-	-	-	?	?	hoch (bei Altanlagen)	Invest-Mittel
<p>Legende: L = Luftschadstoffe und Schadstoffmenge, W = Wasserverbrauch und Abwasserbelastung, A = Abfallmenge und Abfallkontamination, E = Energieverbrauch, R = Ressourceneinsatz</p>								

Die dominierenden Wirkungen sind durch entsprechende Fettungen hervorgehoben. Bei Beachtung dieser Gewichtung ergeben sich auch bei gegenläufigen Wirkungen in verschiedenen Umweltmedien jeweils eindeutige Gesamtbewertungen.

## 2.7.4 Neue fortschrittliche Verfahren

Tab. 17: Zukünftige BVT-Kandidaten Heatset-Rollenoffsetdruck

Nr.	Maßnahme	Prozess	Umwelteffekt
H-10	Abgasreinigung mit Nutzung der Abwärme des Abgases für den Trockner	Trockner, Abgasreinigung	Verminderter Energie-Einsatz, verminderte Luftemission

H-10 Abgasreinigung mit Wärmeenergiegewinnung aus dem Abgas und Nutzung der Abwärme im Trockner:

Die Nutzung des Energiegehaltes des Abgases kann nicht nur zur Vorwärmung des Rohgases vor dem Eintritt in die Brennkammer genutzt, sondern auch zur Heizung des Trockenkanals verwendet werden, wie dies bei integrierten Abgasreinigungsanlagen oben in Kapitel 2.6.2 unter Punkt 11) beschrieben ist. Aktuelle Forschungsergebnisse zeigen, dass sich beide Maßnahmen kombinieren lassen, d.h. regenerative Abgasreinigungsanlagen in den Trockner integriert werden können. Die Trockner können so nahezu autotherm betrieben werden, d.h. dass die Verbrennungsenergie der im Trockner ausgetriebenen Lösungsmittel ausreicht, um beim Fortdruck den Trockner auf Betriebstemperatur zu halten. Lediglich zum Vorheizen sowie bei besonders geringen Farbaufrägen wird eine zusätzliche Energiezufuhr für den Trockner benötigt.

Die Investition in eine Heatsetoffset-Druckanlage mit in den Trockner integrierter regenerativer Abgasreinigungsanlage ist mit relativ hohen Investitionskosten verbunden. Eine Nachrüstung ist nur beim Austausch eines Trockners wirtschaftlich. Bei Neuanschaffungen hängt die Beurteilung der zusätzlichen Investitionskosten (wie bei jedem Trockner mit integrierter Abgasreinigung) davon ab, ob eine bestehende Abgasreinigungsanlage vorhanden ist und die Abgasströme der zusätzlichen Druckanlage an diese angeschlossen werden können.

Die folgende Tabelle zeigt eine schematische Kurzbewertung der skizzierten zukünftigen BVT-Kandidaten.

Tab. 18: Bewertung der zukünftigen BVT-Kandidaten für den Heatset-Rollenoffsetdruck

Nr.	Maßnahme	L	W	A	E	R	Zusatzkosten	Hemmnisse
H-10	Abgasreinigung mit Wärmeenergiegewinnung aus dem Abgas und Nutzung der Abwärme im Trockner	?	-	-	?	-	selbsttragend - z.T. hoch (bei Altanlagen)	Invest-Mittel

### 3. Verpackungsdruckanlagen

#### 3.1 Produkte & Bedruckstoffe

In der Verpackungsindustrie wird eine Vielzahl von Materialien bedruckt, um die Packung zusätzlich als Werbeträger und Verkaufshilfe aufzuwerten. Die folgende Tabelle zeigt einen entsprechenden Überblick:

Tab. 19: Gliederung und Spezifikationen verschiedener Bedruckstoffe für die Verpackungsherstellung

Gruppe	Spezifikationen
Papiere	Flächengewichte zwischen 35 g/m <sup>2</sup> und ca. 150 g/m <sup>2</sup> . Die verschiedenen Qualitäten (ungestrichene Naturpapiere, gestrichene Papiere, Kraftliner, Pergament- und Pergamentersatz) sind ggf. differenziert zu betrachten
Kartons	Flächengewichte zwischen 150 g/m <sup>2</sup> und ca. 350 g/m <sup>2</sup> Cellulose-Kartons, holzschliffhaltige Kartons, Recycling-Kartons in den Qualitäten ungestrichen, mit Strich matt oder kalandriert oder hochglanz-heißkalandriert.
Wellpappe	als Normalwelle oder Mikrowelle in unterschiedlichen Dicken. Wegen der hohen Saugfähigkeit wird Wellpappe praktisch ausschließlich mit Wasserfarben im Flexodruck bedruckt.
Metallfolien und -bänder	vorwiegend Aluminium, in Dicken von 0,008 mm bis 0,02 mm und > 0,02 mm
Kunststofffolien in unterschiedlichen Dicken	z. B. Polyamid, PE, PP, PET. Teilweise spezielle Vorbehandlungen und Alu-Bedampfungen oder Siliziumoxid
Verbundmaterialien der Gruppe 1 bis 5 in verschiedensten Kombinationen	Verbundmaterialien, auch beschichtete Materialien werden oft in Verkettung mit dem Druckprozess hergestellt (Extrudieren oder Lack-, Kleber-, Wachskaschieren)

[VDI, 1997]

Man unterscheidet dabei grundlegend:

- *flexible Packstoffe* aus Papier, Kraftpapieren, Kunststofffolien, Aluminiumfolien und daraus hergestellte Verbundmaterialien, sowie
- *feste Packstoffe* aus Metall, Glas, dicken Kunststoffen, Karton sowie aus Kartonverbunden mit Kunststoffen und Aluminiumfolien.

Flexible Packstoffe werden vor allem im Flexodruck- und im Tiefdruckverfahren bedruckt. Dagegen werden feste Packstoffe - dazu gehören auch Büchsen, Dosen, Tuben und Flaschen - im

Offsetdruck (vor allem Schachteln), im Siebdruck oder in speziellen Verfahren, wie z.B. Letter-set oder Folienprägedruck, bedruckt. Bei Wellpappen, aber auch bei Kartonagen, wird schwerpunktmäßig der Flexodruck eingesetzt. Bei aluminiumbeschichteten Packmitteln kommt meist der Tiefdruck zum Einsatz.

Wo mehrere Druckverfahren prinzipiell geeignet sind (z.B. im Bereich der Faltschachteln), spielen die Faktoren Stückzahl und Qualitätsanforderung eine wichtige Rolle bei der Verfahrensauswahl. Vereinfachend lässt sich dies wie folgt zusammenfassen:

Tab. 20: Auswahlkriterien bei technisch gleichwertigen Druckverfahren

Druck-Verfahren	Stückzahlen	Qualitätsanforderung
Bogen-Offsetdruck	Klein - mittel	Mittel bis hoch
Flexodruck	Mittel- hoch	Gering bis hoch
Tiefdruck	Hoch	Mittel - hoch

Aufgrund der technologischen Entwicklungen überlappen die Einsatzbereiche der Verfahren zunehmend.

Nur in größeren Flexo- und Tiefdruckanlagen werden die Mengenschwellen des Annexes 6.7 der IVU-Richtlinie überschritten.<sup>14</sup> Nur diese Anlagen sind deshalb Gegenstand der folgenden Ausführungen.

## 3.2 Druckprinzipien

### 3.2.1 Flexodruck

Der Flexodruck ist ein Verfahren des direkten Rotationsdruckes mit elastischen, erhabenen Druckformen, die auf Plattenzylinern unterschiedlicher Umfänge befestigt werden können. Die druckenden Elemente liegen reliefartig erhaben, die nichtdruckenden Bereiche sind vertieft und werden nicht eingefärbt. Der Druck erfolgt gegen einen Gegendruckzylinder. Die flexiblen Druckformen erlauben den Druck auf rauhe Oberflächen.

Die Übertragung der dünnflüssigen Farbe zum Druckformzylinder kann prinzipiell entweder im „Quetschbetrieb“ oder im „Rakelbetrieb“ erfolgen. Während im Quetschbetrieb die Dosierung der Übertragenen Farbmenge durch die Variation des Anpressdrucks zwischen zwei Übertra-

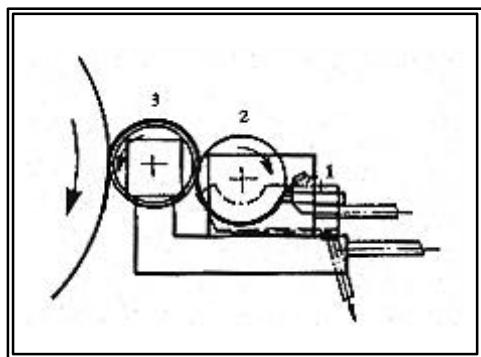
---

<sup>14</sup> Da im Bogen-Offsetdruck keine VOC-haltigen Farben zur Anwendung kommen, werden in derartigen Druckanlagen die Verbrauchsmengenschwellen der IVU-Richtlinie für VOC regelmäßig nicht überschritten.

gungswalzen (Tauchwalze und Auftragswalze/Rasterwalze) gesteuert wird erfolgt diese Dosierung im Rakelbetrieb durch die unterschiedliche Anstellung einer Rakel. Da Letzteres eine exaktere Einstellung dieses wichtigen Druckparameters erlaubt, sind neuere Maschinen praktisch durchgehend mit sogenannten Farb-Kammercarrakeln ausgestattet.

Die folgende Abbildung zeigt schematisch den Aufbau eines solchen Druckwerkes:

Abb. 9: Aufbau eines Flexodruckfarbwerkes mit Kammercarrakel



Farb- und Druckwerk als Zwei-Walzen-System mit geschlossener Rakeleinheit. 1 Rakel, 2 Rasterwalze, 3 Formzyylinder [nach Baufeldt et 1995]

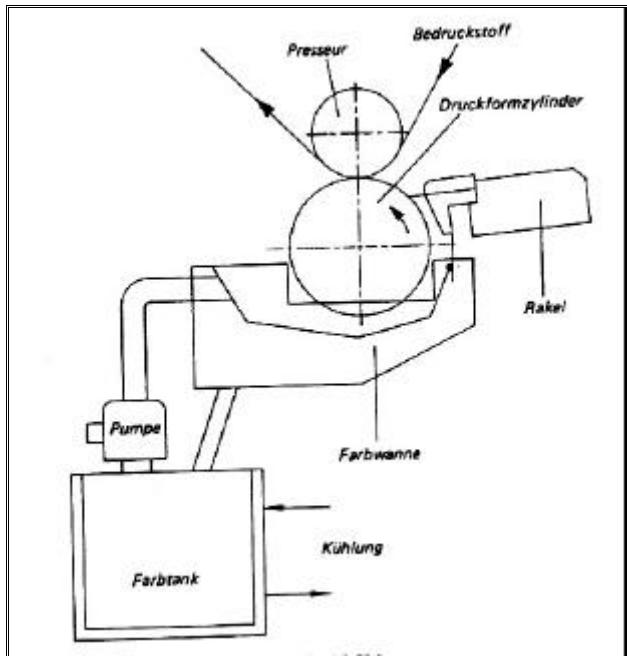
Als Material für die Druckform werden heute überwiegend Fotopolymerplatten verwendet, die im wesentlichen reaktive d.h. UV-vernetzbare Acrylbindemittel enthalten. Sie sind massearm, gleichzeitig aber auch widerstandsfähig ist und daher von hoher Auflagenbeständigkeit (mindestens 500.000 Drucke).

Nicht einsetzbar sind fotopolymere Platten bei Farben, die Ester und Ketone enthalten, wie dies bei Farben für den Druck auf PVC, Polyester und z.T. Aluminiumfolien der Fall ist. Hier kommen Gummiplatten zum Einsatz.

### 3.2.2 Verpackungs-Tiefdruck

Beim Tiefdruck liegen die druckenden Stellen der Druckform (*Näpfchen*) vertieft. Die Druckform wird durch Eintauchen in dünnflüssige Druckfarbe eingefärbt und überschüssige Farbe anschließend mit einem Stahlmesser (*Rakel*) abgezogen. Während des Druckvorganges wird die Druckfarbe aus den Vertiefungen der Druckform direkt auf den *Bedruckstoff* übertragen (direktes Druckverfahren).

Abb. 10: Aufbau des Farbwerkes einer Verpackungstiefdruck-Anlage



Als Druckformen kommen galvanisch beschichtete Metallzyliner zum Einsatz in die das Druckbild eingraviert wird. Die stabilen Druckformen erlauben einen hohen Anpressdruck und gewährleisten damit auch bei hohen Druckgeschwindigkeiten saubere Druckergebnisse. Außerdem werden sehr hohe Standzeiten > 1 Mio. Umdrehungen erreicht.

### 3.3 Druckfarben

#### 3.3.1 Farbsysteme

Im lösemittelbasierten Verpackungsdruck sind Ethanol und Ethylacetat die gebräuchlichsten Lösemittel. Weiter kommen speziell für den Flexodruck Isopropanol, n-Propanol, Methoxypropanol, und Ethoxypropanol zum Einsatz. Im Tiefdruck haben Lösemittel wie Methylethylketon, i-Propyl-acetat und n-Propylacetat ihr Einsatzgebiet.

Die folgende Tabelle zeigt Durchschnittswerte einer Basisrezeptur.

Tab 21: Durchschnittliche Basisrezeptur für lösemittelbasierte Verpackungs-Druckfarben

Bestandteil	Inhaltstoffe	Anteil (Gew.%)
Bindemittel - Lösemittelkomponente	Normaltrocknende LM: z.B. Ethanol, n-Propanol, Isopropanol schnelltrocknende LM: z.B: Ethylacetat, i- und n- Propylacetat, MEK, Benzine langsamtrocknende LM: z.B. Methoxypropanol, Ethoxylpropa- nol	60 - 70%
	Cellulosederivate (z.B. Nitrocellulose) , Polyvinylbutyrale, PVC, Polyamide	10 - 20%
Farbmittel	anorganische Pigmente, organische Pigmente	10 - 15%
Farb-Hilfsmittel	z.B. Weichmacher, Wachse, Gleitmittel	1 - 6%
Physik. Eigenschaften: Festkörpergehalt: 25 - 40%; unterer Heizwert: > 20 MJ/kg; Flammpunkt < 21°C		

Die wasserbasierten Farbsysteme weisen höhere Festkörper- und Pigmentgehalte als die lösemittelbasierten Farben auf.

Der Wasseranteil in gelieferten Druckfarben liegt bei 50 - 60%. Als Bindemittel werden Als Bindemittel werden vorrangig wässrige Dispersionen ( z. B. vom Typ Styrol-Acrylat-Copolymere) eingesetzt. Entsprechend dem Einsatzzweck und den gewünschten Echtheiten werden saure Harze, welche durch Verseifung mit Alkalien (Ammoniak, Amine) in eine wasserlösliche Form gebracht werden, zur Modifizierung eingesetzt. Im Trocknungsvorgang entweicht das Amin bzw. Ammoniak, und die Bindemittelharze werden wieder wasserunlöslich. Als Trocknungshilfe werden die Alkohole, Ethanol und Isopropanol in geringen Konzentrationen von meist deutlich unter 5% beigegeben<sup>15</sup>. Die Verdünnung kann mit Wasser angesetzt werden. Meist enthalten die Rezepturen Additive wie Entschäumer und Netzmittel und Biozide.

---

<sup>15</sup> Bei speziellen Anforderungen an die Trocknungsgeschwindigkeit, z.B. bei sehr dünnen Papieren, liegt dieser Anteil auch bei 10 – 15% in Ausnahmefällen bis zu 25%.

Tab. 22: Durchschnittliche Basisrezeptur für wasserbasierte Verpackungsdruckfarben

Bestandteil	Inhaltstoffe	Anteil (Gew.%)
Bindemittel		
- wässrige Lösemittelkomponente	Wasser	50 - 75%
- organische Lösemittelkomponente	Alkohole (z.B. Ethanol, Isopropanol)	1- 15%
- weitere Bindemittelkomponente	z.B. Polyester- u. Acrylharze, Polyvinylacetat	10 - 20%
- weitere Bindemittelkomponente	Ammoniak, Amine	1- 5%
Farbmittel	anorganische Pigmente, organische Pigmente	10 - 20%
Farb-Hilfsmittel	u.a. Wachse, Weichmacher, Komplexbildner	1 - 3%
Physik. Eigenschaften: Festkörpergehalt: 25 - 40%; unterer Heizwert: < 10 MJ/kg; ca. pH-Wert 8		

Für die Wasch- und Reinigungsarbeiten werden vor allem die Lösemittel verwendet, die auch als Lösemittelkomponenten in den Farben enthalten sind. Bei wasserbasierten Farbsystemen wird überwiegend mit Wasser gereinigt, z.T. auch mit Zusätzen von alkalischen Substanzen und Tensiden gereinigt. Auch Mischungen von Wasser mit wassermischbaren organischen Lösemitteln werden verwendet. Zur Entfernung angetrockneter Farbanhaftungen kommen organische Lösemittel zur Anwendung.

### 3.3.2 Einsatzbereiche der verschiedenen Druckfarbensysteme

Die Vorteile der lösemittelbasierten Druckfarben sind:

- Höhere Qualität des Druckauftrages  
Insbesondere auf vielen unpolaren Bedruckstoffen (Kunststoff- /Metallfolien) sind bislang nur mit lösemittelbasierten Farbsystemen spezifischen Echtheiten bezüglich Scheuerfestigkeit, Fettbeständigkeit, Heißsiegelechtheit und Lackierechtheit realisierbar.
- Geringere Belastungen des Bedruckstoffes  
Die Verdunstungsenergie der Lösemittel ist gegenüber Wasser deutlich kleiner, so dass Trocknertemperaturen und Trocknerzeiten geringer gewählt werden können. Neben der thermischen Belastung spielt gerade bei dünnen Papieren auch die Frage der ungewollten Geometrieänderungen durch die Wasseraufnahme der Bahn eine wichtige Rolle.

Schwerpunkte des lösemittelbasierten Verpackungstiefdrucks bilden deshalb Verbundstoffe mit Überdrucklack und Applikationen von aluminiumbeschichteten Verbundmaterialien. Exemplarische Produkte im lösemittelbasierten Flexodruck sind flexible, gegenüber Wasser beständige Verpackungen für Lebensmittel und Kosmetika. Auch bei flexiblen Lebensmittelver-

packungen für nasse Füllgüter und bei siegeleichten Anforderungen kommen überwiegend Lösemittel-Farbsysteme zum Einsatz.

Die Vorteile der wasserbasierten Druckfarben liegen insbesondere darin, dass bei der Farbtrocknung nur sehr geringe Anteile organischer Lösemittel emittieren. Somit können einerseits die Grenzwerte in der Atemluftbelastung der Beschäftigten ohne Zusatzaufwand sicher eingehalten werden und zum anderen kann auf den Einsatz von Abgasreinigungsanlagen verzichtet werden. Im Direktdruck und Preprint von Wellpappen wird deshalb praktisch nur noch mit wasserbasierenden Farben gedruckt. Weitere Anwendungsfelder mit hohem Wasserfarbenanteil sind: Papiersäcke und -tüten, Tapeten, Umschläge und EDV-Papier, Hygiene- und Haushaltspapiere wie Servietten, Geschenkpapiere, Etiketten, aseptische Verpackungen wie Milch- und Getränkekartonagen, PE-Tragetaschen und -Säcke sowie Schrumpfhauben.

Es sind überwiegend saugfähige, offenporige Bedruckstoffe aus Papieren und Karton, die derzeit für den Druck mit Wasserfarben in Frage kommen. Die hohe Verdampfungswärme und Verdunstungszahl, aber auch die hohe Oberflächenspannung von Wasser (schlechte Benetzung von vielen Kunststoffen) begrenzen die weiteren Einsatzmöglichkeiten. Bei den Polyolefinen Kunststoffen sind es vorwiegend PE-Folien, die bedruckbar sind. Um bei anderen Kunststofffolien wie PP, PES und PS drucktechnisch gute Ergebnisse zu erreichen sind meist sehr gezielte Anpassungen der Druckparameter, u.a. z.B. meist eine Absenkung der Druckgeschwindigkeiten, notwendig. Dies gilt auch für das Bedrucken von Aluminiumfolien und aluminiumbeschichteten Kunststofffolien.

Besonders problematisch ist die Umstellung auf wasserbasierte Farbsysteme bislang beim Druck von Gold- und Silberfarbe. Im Etikettendruck besteht beim Auftrag von Tagesleuchtfarben noch keine wasserbasierte Alternative, da die existierenden Farbsysteme bei der späteren Anwendung in Laserdruckern und Kopierern nicht hitzeresistent wären. Neuere Entwicklungen lassen erwarten, dass in diesem Segment die stabile Beimischung der Leuchtfarben bereits bei der Papierherstellung gelingt, so dass die Notwendigkeit einer flächigen Bedruckung entfällt.

Insgesamt lässt sich sagen, dass in Deutschland derzeit die überwiegende Zahl der Produkte, die sich ohne technische Einschränkungen mit wasserbasierten Farbsystemen bedrucken lassen, auch in dieser Verfahrensvariante hergestellt werden. Der lösemittelbasierte Verpackungsdruck und der wasserbasierte Verpackungsdruck bedienen damit zwei weitestgehend getrennte Produktsegmente.

In der Praxis sind vielfach auch Mischfahrweisen zwischen wasser- und lösemittelbasierten Farbsystemen vorzufinden. Meist werden dabei in einer eigentlich wasserbasierten Produktion

entweder lösemittelbasierte Primer<sup>16</sup> oder noch häufiger lösemittelbasierte Abdecklacke<sup>17</sup> aufgedruckt, um die gewünschten Produkteigenschaften sicherstellen.

## 3.4 Druckmaschinen

### 3.4.1 Grundaufbau

Im Gegensatz zu den Druckverfahren aus dem grafischen Druckbereich (Heatset, Illustrationsdruck) wird im Verpackungsbereich üblicherweise mit Echtfarbtönen gearbeitet. Aus diesem Grund sind die Maschinen meist mit einer großen Zahl von Farbwerken ausgestattet, um in einem Druckvorgang 8 und mehr Farben aufbringen zu können. Dabei sind allerdings auch Grundierungen oder Decklacke zu berücksichtigen, die besondere Eigenschaften der Druckschichten (sog. „Echtheiten“ wie: Lebensmittelechtheit, UV-Beständigkeit etc) sicherstellen.

Bei den Druckmaschinen lassen sich die folgenden Grundtypen differenzieren:

*Vorsatzdruckwerke* sind einzelne Druckwerke für den Auftrag einer Farbe oder eines Lackes. Sie kommen überwiegend im Rahmen von Produktionsprozessen wie der Packstoffherstellung oder der Veredelung von Papierbahnen und Folien zum Einsatz. Ein Beispiel ist der sogenannte Preprint von Wellpappen-Decklagen mit einem Flexodruck-Vorsatzdruckwerk vor der Käschieranlage.

Bei den *Zentralzylindermaschinen* liegen alle 6 bis 8 Farbwerke satellitenartig um einen Gegendruckzylinder. Vorteile bringt dieser Maschinentyp vor allem beim Druck von dehnbaren Folien und anderen nicht formatstabilen Bedruckstoffen. Zwischen den einzelnen Farbwerken sind sogenannte Zwischentrockner angeordnet, die mit Heißluft einen ersten Trocknungsschritt der Farbe einleiten. Nach dem letzten Druckwerk wird die Bedruckstoffbahn durch einen Trockenkanal geführt, um die Farbtrocknung abzuschließen.

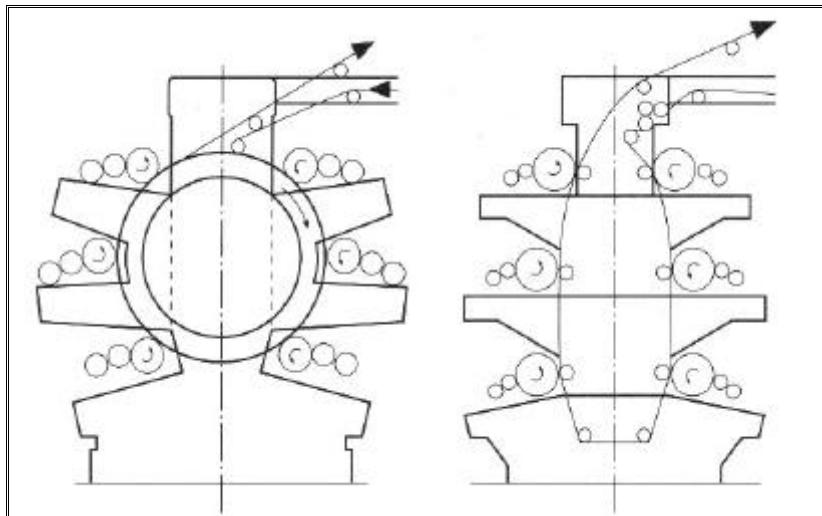
Bei den *Mehrzylindermaschinen* besitzt jedes Druckwerk einen eigenen Gegendruckzylinder. Unterschieden wird zwischen Ständerdruck- und Tandemdruckmaschinen.

---

<sup>16</sup> Als erster, vollflächiger Druckauftrag

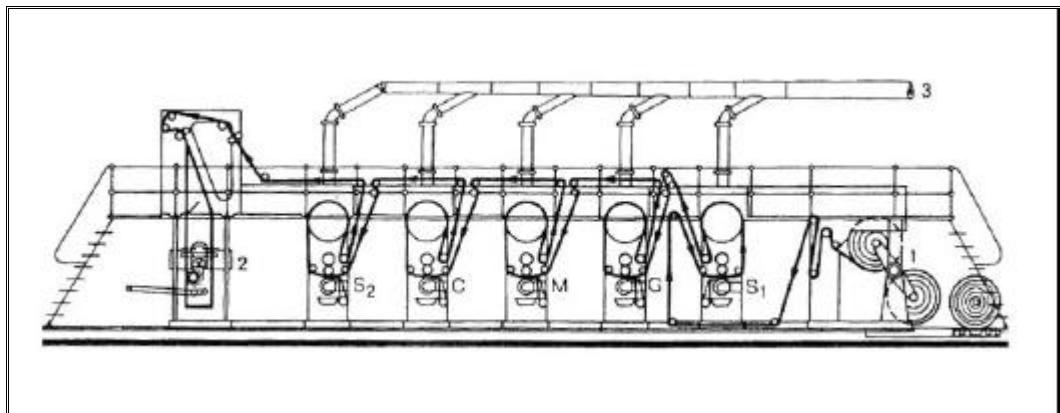
<sup>17</sup> Als letzter, vollflächiger Druckauftrag

Abb. 11: Zentralzylinder- (links) und Mehrzylinder – (rechts) Druckmaschinen



Bei *Reihen-Mehrzylindermaschinen* weist jedes Druckwerk einen eigenen Druckwerkständer mit Gegendruckzylinder auf. In solchen Anlagen sind auch kombinierte Produktionen in Flexo- und Tiefdruck-Farbwerken möglich. Der Bedruckstoff legt bei diesem Typ zwischen den Druckwerken eine längere (Trocknungs-)Strecke zurück.

Abb. 12: Reihen-Mehrzylinder Verpackungsdruckmaschine



1 Rollen-Abwicklung

2 Auslage

3 Fortluft-Trockner

S1 Schwarz- Schöndruck

C, M, G: Cyan, Magenta und Gelb

S2 Schwarz -Widerdruck

Zu Druckmaschinen gehören auch die *Bahnzuführung* bzw. der *Rollenabwickler* sowie entweder eine *Rollenaufwicklung* (bei Rolle-Rolle Produktion) oder eine andere Form der *Auslage*, wie z.B. eine Bogenauslage mit Hilfe einer „inline“-Querschneideeinrichtung.

In den *Trockner* der Druckmaschinen wird Heizluft aus speziellen Düsen auf die Bahn aufgeblasen. Die Blasgeschwindigkeiten und Temperaturen variieren in Abhängigkeit von den Bedruckstoffen und den Bahngeschwindigkeiten sehr stark. (Typische Temperaturen sind 50°C – 100°C, die Blasgeschwindigkeiten liegen häufig bei 40 – 60 m/sec). Man unterscheidet zwischen direkt und indirekt beheizten Trocknern. Während bei den direkt beheizten Trocknern die Heizluft mit einer offenen Gasflamme erwärmt wird, erfolgt die indirekte Beheizung über ein Wärmeträgermedium (meist Thermalöl) und entsprechende Wärmetauscher.

Zum Abtransport der eingebrachten Trocknerenergien ist eine gezielte *Kühlung* der Druckbahn notwendig. Dies geschieht über die Kühlung einzelner Walzen(-gruppen) in den Maschinen (z.B. der Gegendruckzylinder u.a.). Hierfür sind spezielle Kühlwasserkreisläufe installiert. Um die Druckbedingungen konstant zu halten sind bei größeren Maschinen auch die Farbwerke in diese Kühlkreisläufe integriert. (Neben Temperiereinrichtungen, die beim Andruck ein Aufheizen der Farbe auf Drucktemperatur erlauben).

Mit *Farbpumpen* wird die Druckfarbe aus den Vorlagebehältern in das Druckwerk gefördert. Um Anbackungen und Absetzen zu verhindern, wird hierbei ein Farbkreislauf erzeugt. Aus Explosionschutz-Gründen werden die Farbpumpen mit Druckluft betrieben.

In den IVU-relevanten Betrieben sind überwiegend größere Druckmaschinen mit Bahnbreiten von 60 – 140 cm im Flexodruck und 80 – 160 cm im Tiefdruck installiert. Nach Herstellerangaben erreichen diese Maschinen Druckgeschwindigkeiten von bis zu 300 m/min im Flexodruck bzw. 500 m/min im Tiefdruck. Die realen Produktionsgeschwindigkeiten liegen meist allerdings deutlich niedriger.

### 3.5 VOC-Einsatz

#### 3.5.1 VOC-haltige Lösemittel und Hilfsstoffe

Die folgenden Tabellen zeigen eine Auswahl typischer VOC-relevanter Einsatzstoffe und ihre Anwendungsbereiche im lösemittelbasierten und im wasserbasierten Verpackungsdruck.

Tab. 23: VOC-Einsatz im lösemittelbasierten Verpackungs-Druck

Stoff	Dampfdruck	Einsatzzweck
Ethanol	59 hPa	Lösemittel in Farbe, Trocknungsbeschleuniger, Reinigungsmittel
Isopropanol	43 hPa	Lösemittel in Farbe, Reinigungsmittel
Ethylacetat	92 hPa	Verdünner, Reinigungsmittel
Isopropylacetat	61 hPa	Verdünner

Methylethylketon (MEK)	105 hPa	Trocknungsbeschleuniger
n-Butanol	12 hPa	Trocknungsverzögerer
Methoxypropanol	11 hPa	Trocknungsverzögerer
n-Propanol		Trocknungsverzögerer
Ethoxypropanol	6,5 hPa	Trocknungsverzögerer
Verschiedene Ester		Weichmacher (Verbesserung der Flexibilität und Haftfestigkeit) in Druckfarben und bei Hilfsmitteln

Auch beim wasserbasierten Verpackungsdruck kommen, wie bereits angeführt, neben Wasser kleinere Mengen organische Lösemittel zum Einsatz. Die folgende Tabelle zeigt einen Überblick über typische Stoffe.

Tab. 24: VOC-Einsatz im wasserbasierten Verpackungsdruck

Stoff	Dampfdruck	Einsatzzweck
Ethanol	59 hPa	Lösemittel in Farbe, Trocknungsbeschleuniger, Reinigungsmittel
Isopropanol	43 hPa	Lösemittel in Farbe, Reinigungsmittel
n-Propanol		Lösemittel in Farbe
Spezialbenzin (A I)	40 - 85 hPa	Reinigungsmittel
Testbenzin (A II, A III)	1,5 - 10 hPa	Reinigungsmittel

Die meisten der aufgeführten Stoffe und Stoffgemische zählen zur Stoffklasse III der TA-Luft.

### 3.5.2 Spezifische Verbrauchsmengen

Neben den VOC-Gehalten der eingekauften Druckfarben werden weitere relevante VOC-Mengen sowohl bei der Farbverdünnung (Viskositätseinstellung) als auch bei verschiedenen Reinigungsarbeiten eingesetzt.

Für die Prüfung der Schwellenwerte nach IVU-Richtlinie ist jeweils der gesamte Lösemittelverbrauch heranzuziehen. Dieser Gesamt-Lösemittelverbrauch ist insbesondere im Verpackungsdruck sehr stark vom jeweiligen Produktspektrum sowie von der Handhabungspraxis in der betreffenden Anlage abhängig. Um dennoch eine grobe Schwellenwertprüfung zu ermöglichen, werden im folgenden typische spezifische Gesamt-VOC-Verbräuche für die verschiedenen Druckverfahren-Farbsysteme dargestellt.

Tab. 25: Spezifische VOC-Einsätze im Verpackungsdruck<sup>18</sup>

VOC-Anteil in:	Druckfarben		Verdünnern		Reinigern		Gesamt
VOC-Anteil / Farbmenge	Ø	min-max	Ø	min-max	Ø	min-max	Ø
Tiefdruck lösemittelb.	60%	(40–70%)	101%	(70- 120%)	17%		<b>178%</b>
Flexodruck lösemittelb	60%	(45 – 75%)	81%	(50 – 95%)	14%		<b>155%</b>
Tiefdruck wasserbasiert	5%	(0 – 20%)	2%	(0 – 5%)	10%	(0 – 15%)	<b>17%</b>
Flexodruck wasserbasiert	5%	(0 – 20%)	2%	(0 – 5%)	10%	(0 – 15%)	<b>17%</b>

[nach Ökopol, 1999]

Im Ergebnis heißt dies z.B., dass im Verpackungsflexodruck ca. 155 kg VOC/kg Druckfarbe in den Produktions- und Nebenprozessen der Anlage eingesetzt werden.

Interne Lösemittelrückgewinnungen, die u.a. die Verbrauchsmenge gegenüber der Einsatzmenge reduzieren, sind üblicherweise nur im Bereich der Reinigungsmittel relevant. Bei Einsatz von Rückgewinnungsanlagen kann davon ausgegangen werden, dass hier eine Minderung des Lösemittelverbrauches von ca. 50% der im Bereich „Reiniger“ ausgewiesenen Mengen erfolgt.

### 3.6 Prozessschema und charakteristische Stoffflüsse

#### 3.6.1 Systemgrenzen für die BVT-Ermittlung

Das Bedrucken der Packstoffe ist nur ein Produktionsabschnitt unter vielen anderen bei der vielstufigen Verpackungsherstellung. Das Bedrucken erfolgt teilweise in spezialisierten Druck-Betrieben in reinen Druckanlagen und teilweise bei Verpackungsherstellern im komplexen Anlagenverbund mit einer Vielzahl vor- und nachgelagerter Produktionsschritte.

Als dem Druckprozess vorgelagerte Fertigungsprozesse sind insbesondere die Packstoffherstellung z.B. durch Extrusion von Folien, die Wellpappenherstellung oder die Papierveredelung zu benennen. Ergänzend finden sich Prozessstufen, die die Bedruckeigenschaften der Packstoffe verbessern, wie z.B. die Corona-Behandlung von Folien oder der Primerauftrag z.B. bei Metallfolien.

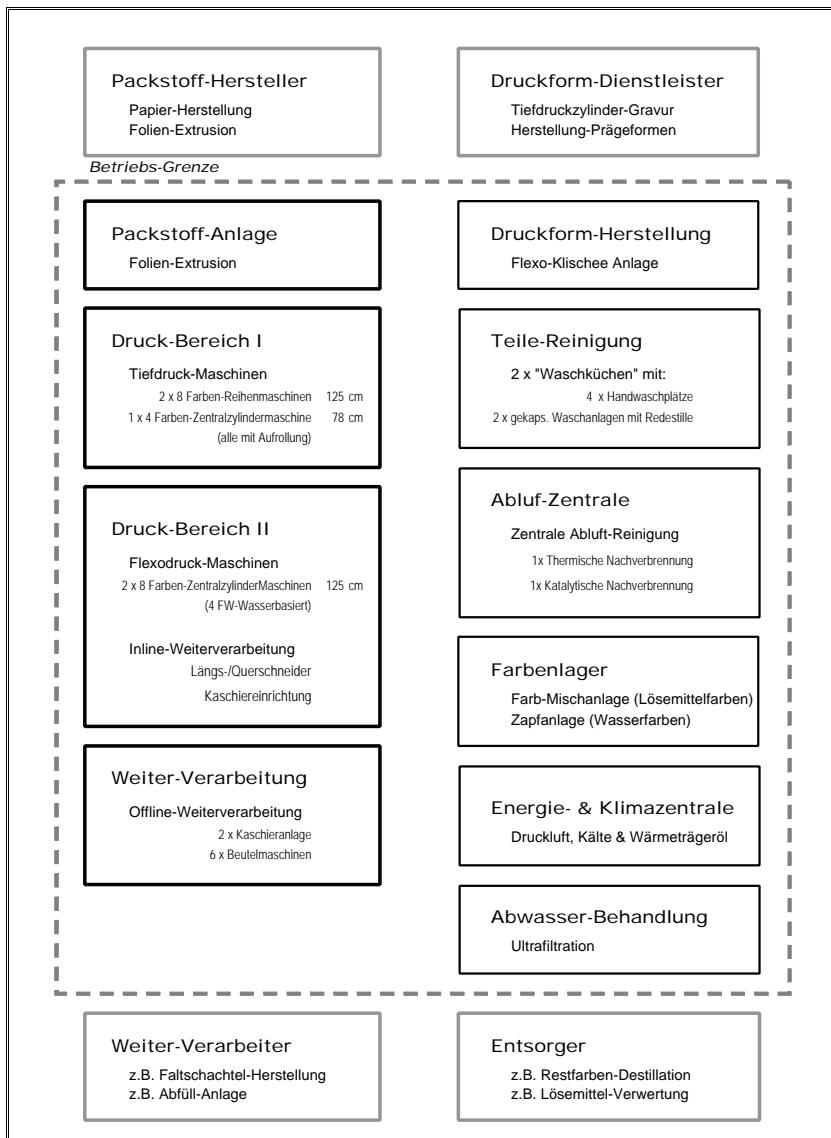
<sup>18</sup> Die Durchschnittswerte und die angegebenen Bandbreiten resultieren aus einer Branchenuntersuchung, die Ökopol 1997-99 im Auftrag des Umweltbundesamtes durchgeführt hat. Die Aufteilung der Gesamteinsatzmengen von Lösemitteln auf die Bereiche Verdünnung bzw. Reinigung ist in der Betriebspraxis regelmäßig schwierig. Während der Gesamtlösemittelleinsatz durch eine Vielzahl von betrieblichen Daten vergleichsweise gut abgesichert ist, ist die Aufteilung auf die Einsatzprozesse deshalb eher als orientierende Abschätzung zu verstehen.

Typische, dem Druckprozess nachgelagerte, Fertigungsprozesse sind das Kaschieren oder Laminieren der bedruckten Bahnen mit anderen Packstoffen, das Kleben sowie vielfältige Schnitt- und Stanzprozesse. Auch weitere Veredelungsschritte der Oberfläche durch mechanische Prozesse wie das Kalandrieren, das Prägen oder das Streichen oder durch den Auftrag von Beschichtungen oder Abdecklacken sind häufig vorzufinden.

In einigen Fällen werden die skizzierten Fertigungsprozesse technisch eng verkoppelt („in-line“) mit dem Drucken in kombinierten Fertigungsanlagen ausgeführt. In anderen Fällen erfolgen sie in allein stehenden Anlageneinheiten („off-line“). Zusätzlich sind bei Verpackungsdruck und – Herstellung eine Vielzahl von Hilfs- und Nebenprozessen notwendig, die u.a. zur Versorgung der verschiedenen Produktionsanlagen mit Energie und Betriebstoffen, zur Wartung und Instandhaltung oder auch zum Emissionsschutz dienen.

Die folgende Abbildung zeigt prototypisch die Fertigungsprozesse in einem größeren Verpackungsdruck-Betrieb. Auch hier wird deutlich, dass in der Praxis Teile der vor- bzw. nachgelagerten Prozessschritte vielfach auch außerhalb des Betriebes bei Lieferanten, Kunden oder Dienstleistern durchgeführt werden.

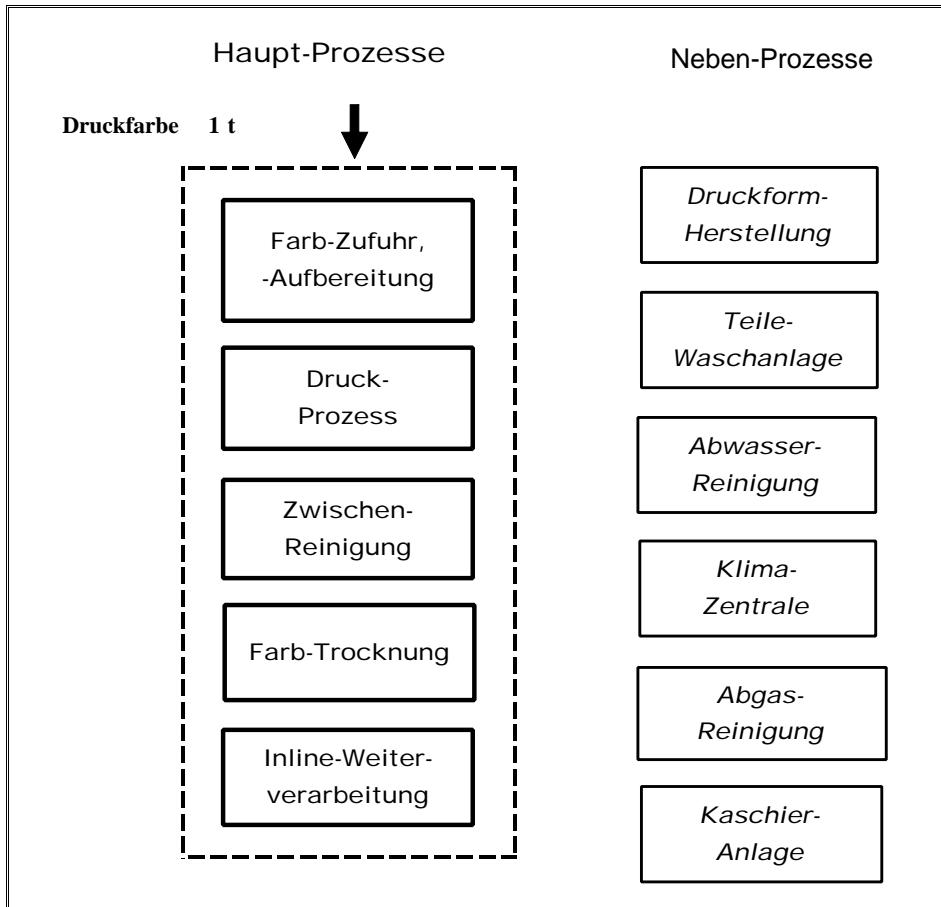
Abb. 13: Prozessschema einer Verpackungsdruckerei



Die Vielzahl der unterschiedlichen möglichen Prozessschritte und –Kombinationen erfordert die Festlegung von Systemgrenzen, um zu vergleichbaren BVT-Beschreibungen zu gelangen.

Vergleichbare Verbrauchs- und Emissionswerte lassen sich sinnvoll für die in der folgenden Grafik dargestellten Haupt- (oder Kern-) Prozesse im unmittelbaren Verbund mit der Druckmaschine ermitteln. Die aufgeführten Neben-Prozesse werden dagegen sachgerechter als eigenständige Neben-Anlagen beschrieben.

Abb.14: Haupt- und Nebenprozesse in Verpackungsdruckanlagen



Entlang des vorstehend dargestellten Schemas werden im folgenden die wesentlichen Fertigungsprozesse des Verpackungsdrucks kurz beschrieben und zentrale Umweltwirkungen angeführt. Da im Verpackungsdruck fast alle Fertigungsprozesse auch VOC-relevant sind, werden auch die wesentlichen VOC-Einsätze und Emissionsquellen im Rahmen dieser Darstellung mit behandelt.

### 3.6.2 Haupt-Prozesse

#### Farbaufbereitung:

Im Rahmen der Farbaufbereitung erfolgt in den Verpackungsdruck-Betrieben regelmäßig eine Viskositätseinstellung der Druckfarben, um sie an die Besonderheiten des Bedruckstoffes (z.B. Saugfähigkeit), der Druckform (z.B. mehr oder minder feine Raster) sowie die Maschinenpara-

meter (z.B. die Bahngeschwindigkeit) anzupassen. Üblicherweise erfolgt die Viskositätseinstellung durch die Zugabe von (VOC-haltigen) Verdünnern. Verzögerer kommen seltener zum Einsatz. Die real verdrückten Farben haben deshalb immer einen (teilweise deutlich) höheren Lösemittelgehalt als die vom Farblieferant angelieferten Farben.

Die Viskositätseinstellung kann an verschiedenen Stellen erfolgen:

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

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

Da im Verpackungsdruck überwiegend mit Echtfarben gedruckt wird, können die Betriebe entweder fertig angemischte Farben vom Lieferanten beziehen oder selbst aus einem Grundfarbenfächer eine entsprechende Farbmischung vornehmen. Der Bezug fertig gemischter Sonderfarben führt vielfach zu großen Lagermengen nicht verdrückter Restfarben, die aufgrund von Alterung zu entsorgungsbedürftigem Abfall werden. Diese Abfallmengen liegen vielfach zwischen 3 und 10% der eingekauften Farbmenge. In Einzelfällen kommen auch Restfarbmengen bis zu 20% vor.

Für die betriebsinterne Farbmischung sind, aufgrund der hohen Qualitätsanforderungen, computerunterstützte Mischsysteme mit dem entsprechenden Installations- und Kostenaufwand notwendig. Durch die bedarfsgerechten Mischmengen kann der Anteil der Restfarbmengen deutlich reduziert werden. Darüber hinaus ist vielfach auch eine Weiterverwendung durch gezielte Beimischung zu neuen Rezepturen möglich.

Abwasserbelastungen treten im Bereich der Farbaufbereitung üblicherweise nicht auf.

Der Druckprozess:

Die Stoffbilanzen des Druckprozesses selbst werden von der bedruckten Fläche sowie von der real aufgebrachten Druckfarbe definiert. Die bedruckte Fläche ergibt sich aus der Bahnbreite und der Bahngeschwindigkeit.

Die Bahnbreiten werden durch die maximalen Produktionsbreiten der Maschinen vorgegeben. Die Druckgeschwindigkeiten werden sehr stark vom Bedruckstoff und dem jeweiligen Druckmo-

tiv beeinflusst. Die folgende Tabelle zeigt typische Bahngeschwindigkeiten aus der Betriebspraxis mittelgroßer Druckmaschinen (Breite ca. 100 cm).

Tab. 26: Durchschnittliche Bahngeschwindigkeiten

Druckverfahren	Bahngeschwindigkeiten
Verpackungs- Flexodruck	100 – 200 m/min
Verpackungs- Tiefdruck	150 – 250 m/min

Bei schwierigen Bedruckstoffen und anspruchsvollen Druckbildern können die Geschwindigkeiten noch deutlich niedriger liegen (z.B. 50 – 80 m/min im Flexodruck). Einfache Aufträge laufen dagegen teilweise auch deutlich schneller (z.B. 250 – 300 m/min).

Die aufgebrachte Farbmenge resultiert aus dem Produkt von Farbauftag (Farbmenge/bedruckte Fläche) und Flächendeckung (Bedruckte Fläche/ Bedruckstofffläche) und zwar über die Summe aller Druckwerke der Maschine.

Der Farbauftag ist vorrangig abhängig vom Farbtyp. Die folgende Tabelle zeigt einige Durchschnittswerte.

Tab. 27: Durchschnittliche Farbauftagswerte

Farben	Farbauftag trocken [bei theor. Vollfläche]
Weiß	1,5 – 2,0 g/m <sup>2</sup>
Echtfarben - Bunt	1,0 – 1,5 g/m <sup>2</sup>
Raster-Flächen Bunt	0,5 – 1,0 g/m <sup>2</sup>

Die benannten Werte werden nur unwesentlich vom Druckverfahren bzw. vom Bedruckstoff beeinflusst.

Die Flächendeckung wird vom Druckbild bestimmt. Aufgrund der physiologischen Farbwirkungen liegt sie selbst für markante Farben im Druckbild vielfach nur im Bereich von 10 – 30%. Die folgende Tabelle zeigt praxistypische Flächendeckungen.

Tab. 28: Typische Flächendeckungen

Produktspektrum	Gesamtflächendeckung [Anteil an der bedruckbaren Fläche]
Produkte ohne Vollflächen	130 – 180 %
Produkte mit Vollflächen	200 – 300 %

Werte einzelner Produktionen können deutlich abweichen. So sind im Wellpappenbereich durchaus Flächendeckungen von <20% verbreitet, während andererseits bei hochwertigen

Konsumgütern (z.B. bei Schokoladenpackungen u.ä.) Flächendeckungen von >400 % erreicht werden.

Entscheidend für den Gesamtdeckungsgrad sind hierbei insbesondere die sogenannten „Vollflächen“, die aus verschiedenen Gründen gedruckt werden:

- Auf schwierig zu benetzende Bedruckstoffe (z.B. Folien) wird als erster Druckauftrag teilweise vollflächig ein Primer als Haftvermittler aufgedruckt.
- Zur Verbesserung der Farbwirkungen werden durchsichtige Kunststofffolien oder Metallfolien vielfach zunächst flächig weiß bedruckt. Auch auf Papierbahnen werden teilweise solche Grund-Einfärbungen aufgebracht.
- Zur Verbesserung der Eigenschaften der Farboberfläche werden bei besonderen Anforderungen (Echtheiten wie: Farbechtheit, Abriebfestigkeit, etc) im abschließenden Druckauftrag vollflächig Abdecklacke aufgedruckt.

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

Im Druckprozess selbst fallen Abfälle als Druckmakulatur durch Fehldrucke bzw. während der Anfahrphase, bis ein qualitativ ausreichendes Druckbild „steht“, an. Die Höhe dieses Makulaturanfalls wird von den Qualitätsanforderungen, den drucktechnischen Anforderungen des jeweiligen „Druckobjektes“ sowie von der Handhabungspraxis dominiert und lässt sich nicht allgemein beziehen. Makulaturquoten zwischen 5 und 25% des Gesamtdruckauftrages sind durchaus üblich. Die Druckmakulatur fällt räumlich im Bereich der Auslage der Druckmaschinen an.

Prozessabwässer entstehen im Druckprozess nicht. Bei Anlagen mit Durchlaufkühlung fallen zusätzlich aufgeheizte Kühlwässer (ca. 30 – 50°C) an.<sup>19</sup>

Zwischen-Reinigung:

Bei auftretenden Druckproblemen im An- oder Fortdruck sind Zwischenreinigungen an den farbführenden Teilen der Druckwerke notwendig. Diese werden überwiegend händisch unter

---

<sup>19</sup> Durchlaufkühlungen sind in der Praxis allerdings die Ausnahme. Meist erfolgt die Kühlung der Druckmaschinen mittels „geschlossener“ Kühlkreisläufe, die in der Klimazentrale temperiert werden.

Verwendung der in den Druckfarben enthaltenen Lösemittel und von Putztüchern durchgeführt. Bei einem Teil der neueren Druckmaschinen sind automatisierte Waschanlagen in die Farbwerke integriert, die mit Hilfe von rotierenden Bürsten und eingespritzten Lösemitteln eine Abreinigung der Druckwalzen ermöglichen.

Bei der Umrüstung der Druckmaschinen zwischen verschiedenen Druckaufträgen sowie bei periodischen Grundreinigungen werden in vergleichbarer Weise wie bei den Zwischenreinigungen auch die farbführenden Teile der Druckwerke gereinigt. Die Farbauftagswalzen und die Druckformen selbst werden dagegen meist komplett ausgebaut und der Teilereinigung zugeführt (siehe „Teile-Reinigung“). Weitere farbführende Anlagenteile wie Farbpumpen oder Rohr- und Schlauchleitungen werden dagegen überwiegend direkt an der Maschine gereinigt.

Bei den benannten Reinigungsvorgängen treten relevante VOC-Emissionen in der Raumluft auf. Daneben tragen die verunreinigten Hilfsmittel (Putztücher) wesentlich zum Abfallaufkommen bei. Bei der Zwischenreinigung wird die Abluft der Anlagen teilweise im Bypass an der Abgasreinigung vorbei geführt, da die inkonstanten Lösemittelbeladungen zu Problemen in der Abgasreinigung führen können.

#### Die Farbtrocknung:

Die Verpackungsdruckfarben trocknen überwiegend physikalisch durch Ausdampfen der Lösemittelkomponenten im Heizluftstrom der Trockner.

Eine Anpassung an die unterschiedlichen Verdampfungsenergien der verwendeten Farbsysteme erfolgt über die Regelung der Anblasttemperaturen sowie der Anblasgeschwindigkeiten (Volumen der Trocknerluft). Unter energetischen Gesichtspunkten ist hierbei problematisch, dass bei den derzeit am Markt befindlichen Maschinenkonzepten keine getrennte Regulierung der einzelnen Trockner erfolgt. In der Konsequenz heißt dies, dass sich die benannten Einstellgrößen am ungünstigsten Farbwerk orientieren und an anderen Trocknern deutliche Trockenergieüberschüsse bereitgestellt werden.

Deutliche Energieeinsparungen ergeben sich bei der Realisierung von Umluftsystmen. Hier wird ein Teil der Trockner-Fortluft erneut als Trockner-Zuluft verwendet, so dass die entsprechende Aufheizenergie für diesen Teilstrom entfällt.

Zusätzlich zur physikalischen Trocknung laufen Vernetzungsreaktionen im Farbfilm ab. Bei der Reaktion der gelösten Amine der Wasserfarben werden hierbei relevante Mengen Ammoniak (ca. 0,5 – 1,0 Gew.% der Farbmenge) frei, die gemeinsam mit den Restgehalten der organischen Lösemittel in der Trockner-Fortluft enthalten sind.

### Inline-Weiterverarbeitung:

Bei dem überwiegenden Anteil von Verpackungsdruck-Anlagen erfolgt keine Inline-Weiterverarbeitung. Die Druckbahnen werden dort direkt nach der Druckmaschine aufgerollt und so als Vorprodukte an die betriebsinterne oder eine betriebsexterne Verpackungsherstellung abgegeben.<sup>20</sup>

In einigen Fällen werden die Druckbahnen direkt hinter der Druckmaschine mit gleicher Bahn-Geschwindigkeit („inline“) weiterbearbeitet. Es handelt sich dabei meist um Prozesse mit geringer Umweltwirkung wie Falzen oder Quer- und Längsschneiden. Es kommen dort teilweise aber auch Klebeprozesse wie der Auftrag von Haftklebern oder das Zusammenführen und Verkleben (Kaschieren, Laminieren) mit einer weiteren Packmittelbahn zum Einsatz.

Für die BVT-Beschreibung dieser Prozesse wird auf die gesonderten BVT-Dokumentation der Kaschier-(Klebe-) Prozesse verwiesen.

### 3.6.3 Nebenprozesse

#### Formherstellung:

##### FLEXO-KLISCHEES

Bei der Flexodruckformen-Herstellung (Klischeeherstellung) müssen nach der Belichtung der Druckplatte die nicht gehärteten (nicht druckenden) Teile mit Hilfe entsprechender Lösemittel aus den Fotopolymer-Platten ausgewaschen werden.

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

#### Exkurs: Stand der Technik bei der Flexoklischee-Herstellung

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

Für eine typische größere Auswaschanlage mit einem Durchsatz von 50 m<sup>2</sup>/d ergibt sich bei 220 Produktionstagen ein Durchsatz an Auswaschlösung von insgesamt 110 t/a sowie eine Jahresemissionsmenge von ca. 1,1 t VOC/a.

<sup>20</sup> Umwelt- und teilw. auch IVU-relevante Tätigkeiten in solchen Verpackungsherstellungsanlagen sind insbesondere die verschiedenen Kaschier- und Haftklebeprozesse. Diese werden in einem BVT-Dokument zu den Bereichen Lackieren und Kleben beschrieben.

BVT-Vorschlag für Auswaschanlagen:

⇒ < 0,1 l VOC-Emission / qm Klischee

⇒ keine Verwendung halogenierter Lösemittel

## TIEFDRUCK-ZYLINDER

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

Aus diesem Grunde und da es sich um reine Prozesse der Metallbearbeitung handelt, ist die Zylinderherstellung nicht Bestandteil dieser BVT-Beschreibung. Es wird hier auf die entsprechenden BVT-Darstellungen des Galvanik-Sektors hingewiesen.

### Raumluft-Klimatisierung:

Zur Gewährleistung eines reibungsarmen Produktionsablaufes (z.B. Vermeidung statischer Aufladungen) und einer gleichmäßigen Produktqualität (z.B. Formatänderungen durch Feuchteschwankungen) ist bei höherwertigen Produktionen Raumluftklimatisierung, zumindest in Form von Temperierung und Luftbefeuchtung, Standard.

Umweltwirkungen sind einerseits der Energieverbrauch und andererseits periodisch anfallende aufgesalzene Abwässer aus Heiz- und Kühlsystemen.

### Teilereinigung:

Bei Farb- und Druckformwechseln werden die wesentlichen farbführenden Teile der Druckwerke komplett gereinigt. Insbesondere sind dies die Farbwannen, die Raster-/Tauchwalzen bzw. die Kammerrakeln bei Flexodruck sowie die Druckformzylinder selbst. Diese Maschinenteile werden aus der Maschine genommen und in speziellen Waschräumen („Waschküchen“) gereinigt. Dies erfolgt entweder händisch an gesonderten Waschplätzen oder in entsprechenden Teilewaschanlagen.

Bei lösemittelbasierten Farbsystemen sowie bei angetrockneten Wasserfarbenresten kommen überwiegend leichtflüchtige, farbtypische Lösemittel zum Einsatz. Hochsiedende Kohlenwasserstoffreiniger oder tensidbasierte Reinigungssysteme werden bislang nur in Ausnahmefällen für derartige Reinigungsarbeiten verwendet.

Beim VOC-Einsatz kommt es zu relevanten Emissionen in die Umgebungsluft. Um die MAK-Werte für die in den Waschküchen beschäftigten Mitarbeiter einhalten zu können, erfolgt in der Regel eine Absaugung der lösemittelhaltigen Luft. Diese wird bislang meist unbehandelt „über Dach“ abgeleitet. Auch die Abluft der Teilewaschanlagen wird bislang überwiegend auf diesem

Weg freigesetzt, da die Behandlung der Fortluft aufgrund der auftretenden Beladungsspitzen zu Komplikationen bzw. einem deutlich erhöhten Zusatzaufwand in der Abgasreinigung führt.

In Abhängigkeit von der jeweiligen Reinigungstechnik fallen bei der Teilereinigung im lösemittelbasierten Druck entsorgungsbedürftige Abfälle in Form farbverunreinigter Hilfsmittel wie Putztücher, Lösemittel oder Lösemittel-Wassergemische an. Beim wasserbasierten Druck entstehen auch Abwässer in Form von farbverunreinigtem Spülwasser. Diese Abwässer enthalten meist deutlich mehr als 1 mg AOX/l, 2 mg Zink/l, 1 mg Cu/l sowie 10 mg Kohlenwasserstoffe/l. Sie müssen deshalb vor einer Ableitung in das öffentliche Kanalnetz in der Regel behandelt werden.

#### Reinigungsmittelaufbereitung:

Insbesondere beim Einsatz von Teilewaschanlagen aber auch bei Lösemittelbädern für die Handreinigung fallen ausreichend große Mengen einheitlicher Lösemittel an, um die innerbetriebliche Aufbereitung und den direkten Wiedereinsatz der Regenerate sinnvoll durchzuführen. Aufgrund der hohen Dampfdrücke der im Verpackungsdruck verwendeten Lösemittel können hierfür Destillationsanlagen verwendet werden. Sie werden meist chargenweise betrieben. Auf explosionsgeschützte Ausführungen ist zu achten. Den Regenerationsanlagen können in der betrieblichen Praxis auch flüssige Reinigungsrückstände aus der Maschinenreinigung zugeführt werden.

Die insbesondere Ende der 80er Jahre vielfach propagierte Lösemittelrückgewinnung aus der Fortluft der Druckmaschinentrockner hat sich in der Betriebspraxis dagegen wenig bewährt. Um in Anbetracht der Vielfalt der eingesetzten Lösemittel gute Adsorptionsverhältnisse und die Einhaltung der Abluftparameter sicherzustellen, ist ein hoher Installations- und Wartungsaufwand notwendig. Diesem Aufwand steht meist ein geringer Wert der zurückgewonnenen Lösemittelgemische entgegen. Da es sich um undefinierte Vielstoffgemische handelt, können sie meist nur für untergeordnete Reinigungsarbeiten verwendet werden.

Nur in speziellen betrieblichen Situationen, z.B. bei gesonderten Lackwerken oder Klebestationen an denen kontinuierlich höhere Volumina einheitlicher Lösemittel gefahren werden, lassen sich direkte Lösemittelkreisläufe realisieren.

#### Abgasreinigungsanlagen:

In Deutschland sind alle Verpackungsdruck-Anlagen oberhalb der IVU-Mengenschwelle mit Abgasreinigungsanlagen für die Fortluft der Trockner ausgestattet.

Bei mehr als 95% handelt es sich dabei um Nachverbrennungsanlagen (thermische oder katalytische Anlagen), mit denen sehr hohe Zerstörungsgrade (> 98%) erreicht werden. Bei den üb-

riegen Anlagen, die überwiegend auf Basis von Adsorbern arbeiten, liegen die realen *Abscheidgrade* bei ordnungsgemäßen Wartungszustand der Adsorber ebenfalls oberhalb von 90%.

Neben den Reingaswerten sind insbesondere die Energieeffizienz der Abgasreinigungsanlage und die damit verbundenen Sekundäremissionen aus ökologischer und ökonomischer Sicht die entscheidende Optimierungsgröße. Wichtige Faktoren, die bei der Anlagenauslegung beachtet werden müssen sind:

- Die tatsächliche Rohgasbeladung, die im Produktionsalltag vielfach um Größenordnungen unter den bei der Anlagenauslegung verwendeten Maximalwerten zurückbleibt.<sup>21</sup>
- Der Fortdruckgrad<sup>22</sup> der Maschinen sowie die Zahl der An- und Abfahrvorgänge, die gerade beim Nicht-3-Schicht Betrieb relevante Größenordnungen annehmen.<sup>23</sup>
- Die Gesamtenergiebedarfe im Unternehmen, die in ihrer absoluten Höhe, in ihre jeweiligen Energieniveaus aber insbesondere auch in ihrem zeitlichen Verlauf (Tagesgang, Jahresgang) entscheidend für eine effiziente Nutzung eventueller Überschusswärme aus der Abgasreinigung sind.

Druckanlagen, die ausschließlich wasserbasierte Farbsysteme verarbeiten, sind in Deutschland meist nicht mit Abgasreinigungsanlagen ausgestattet.<sup>24</sup>

Schwierig stellt sich die Situation in Anlagen mit „Mischfahrweisen“ (insbes. dem Einsatz lösemittelbasierte Primer oder Abdecklacke bei sonst wasserbasierten Druck) dar. Einerseits werden hier relevante VOC-Mengen eingesetzt und bei der Farbtrocknung ausgetrieben, andererseits liegen aufgrund der für die Farbtrocknung notwendigen hohen Energie- und damit Luftbedarfe, die Rohgaskonzentrationen meist deutlich unterhalb der Schwellenwerte für die autotherme Fahrweise einer Abgasreinigung.<sup>25</sup>

Abwasserreinigung:

Da der Produktionsprozess durchgehend lösemittelbasiert arbeitender Anlagen weitestgehend wasserfrei ist, ist dort üblicherweise keine Prozess-Abwasserbehandlung notwendig.

---

<sup>21</sup> Zur Illustration: In der Praxis finden sich vielfach Anlagen, die für eine fiktive Vollfläche Belegung aller 8 oder 10 Farbwerke einer Druckanlage (d.h. > 800 % Flächendeckung) und entsprechende Lösemitteleinträge ausgelegt wurden. In der betriebsüblichen Fahrweise (Flächendeckungen z.B. bei 150%) laufen diese Anlagen weit außerhalb ihres strömungs- und energietechnischen Optimums.

<sup>22</sup> Die gesamte Produktionszeit der Anlage abzgl. aller Stillstands-, Rüst- und An- und Abfahrzeiten der Anlagen

<sup>23</sup> Dies wirkt sich insbesondere bei katalytischen Ablagen nachteilig auf die Energiebilanz aus.

<sup>24</sup> Sie erreichen im Normalfall auch nicht die Lösemittel-Verbrauchsmengenschwellen der IVU-Richtlinie

<sup>25</sup> Für die in diesen Fällen notwendigen Abwägungen zwischen verschiedenen Optimierungszielen (VOC-Zerstörung versus zusätzlichem Energieeinsatz mit Sekundäremissionen) steht bislang kein abgestimmtes Entscheidungsinstrumentarium zu Verfügung.

Bei wasserbasiert arbeitenden Anlagen fallen farbverunreinigte Wasserphasen in den Bereichen der Maschinen- und der Teilereinigung an, die aufgrund ihrer Inhaltsstoffe vor einer Indirekteinleitung einer Abwasserbehandlung unterzogen werden müssen. Diese Vorbehandlung erfolgt in der Praxis durch Fällung und Flockung oder durch eine mehrstufige Ultrafiltration.

Die folgende Aufstellung zeigt einige typische Auslegungsparameter:

Tab. 29: Typische Auslegungswerte für die Abwasservorbehandlung in wasserbasiert arbeitenden Verpackungsdruckanlagen

Parameter	Zulaufwerte	Maximale Ablaufwerte
Spezifische Abwassermenge (für die normalen Reinigungsvorgänge bei mittleren Farb- und Auftragswechseln)	2 – 3 cbm / t verdrückte Farben	-
CSB	15.000,00 mg / l	160 mg / l
AOX	79,50 mg Cl/l	-
Cu	20,00 mg/l	-
BSB <sub>5</sub>	-	25 mg / l
Kohlenwasserstoffe, gesamt	-	10 mg/l

### 3.7 Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte

#### 3.7.1 Modell-Anlagen

Als Modell-Anlage wird eine Zentralzylindermaschine mittlerer Produktionsbreite angesetzt, wie sie in einer großen Zahl von Verpackungsdruckbetrieben zum Einsatz kommt.

Tab. 30: Basisdaten der Verpackungsdruck-Modell-Anlage

Maschinen	Zentralzylinder-Anlage; 8 Farbwerke, Format 127 x 100 cm, Bahngeschwindigkeit bis ca. 250 m/min
Trockner	Zwischenetrockner und Brückentrockner indirekt beheizt (Wärmeträgeröl), konzentrationsgesteuerte Umluftführung
Weiter-verarbeitung	Längs- und Querschneider und Rollenwickler

[ÖKOPOL 2002]

### 3.7.2 Spezifische Verbrauchs- und Emissionswerte (Haupt-Prozesse)

Für die Hauptprozesse in der genannten Druckanlage ergeben sich bei einem fortschrittlichen Stand der Technik die im folgenden dargestellten spezifischen Verbrauchs- und Emissionswerte. Da sich größere Druckanlagen üblicherweise aus mehreren der beschriebene Druck-Einheiten zusammensetzen, die jeweils der Modell-Anlage gleichen, sind die spezifischen Werte auch auf größere Anlagen übertragbar.

Um die Bandbreite praxistypischer Verbrauchs- und Emissionswerte sachgerecht abbilden zu können, werden zwei unterschiedliche Fahrweisen der Modell-Anlage dargestellt. Einerseits eine Produktion mit durchgehend lösemittelbasierten Farben und andererseits eine Mischproduktion mit wasserbasierten Farben und einem lösemittelbasierten Abdecklack.

Die folgende Tabelle zeigt die angesetzten Produktparameter und Produktionsbedingungen.

Tab. 31: Produktionsbedingungen der Verpackungsdruck-Referenzanlage

Produktionsbedingungen	280 Produktionstage/a, 3-schichtig: 6.525 Betriebsstunde/a mit 70% Fortdruckzeit => 4.560 Fortdruckstunden/a
Produkte	Papiereinschläge 70 gr/m <sup>2</sup> <u>Lösemittelbasiert:</u> 6 Farben, Flächendeckung 155%, mit Farbauftrag 4,98 gr/m <sup>2</sup> , Bahngeschwindigkeit 150 m/min <u>Mischfahrweise:</u> 6 Farben + Abdecklack, Flächendeckung 255%, mit Farbauftrag 4,90 gr/m <sup>2</sup> + Abdecklack 2,50 gr/m <sup>2</sup> , Bahngeschwindigkeit 150 m/min
Weiterverarbeitung	Längsbeschnitt und Aufwicklung

Die IVU-Lösemittelverbrauchs-Mengenschwellen (>200t voc/a) werden bei der durchgehend lösemittelbasierten Produktion bereits mit einer Druckmaschine erreicht, während bei einer Mischfahrweise 2-3 Druckmaschinen notwendig sind.

In den folgenden Tabellen sind mittlere spezifische Verbrauchs- und Emissionsfaktoren für die Lösemittelfahrweise dargestellt. Sie steigen mit:

- Sinkender Einzelauflagenhöhe,
- steigender Zahl der Farbreihenfolgewechsel
- besonders hohen Anforderungen an die Druckqualität (bzw. schwierigen Druckbildern),
- geringeren Papierqualitäten.

Dabei sind die auf den Farbeinsatz bezogenen spezifischen Werte für die Material- und Energieverbräuche naturgemäß besonders von der mittleren Farbdecke (g/m<sup>2</sup>) abhängig.

Unter Berücksichtigung der benannten Abhängigkeit handelt es sich bei den angegebenen Werten um Mittelwerte, die in der Praxis ca. +/- 20% abweichen können.

Tab. 32 : Spez. VOC-Verbrauchs- und Emissionswerte (Lösemittelfahrweise)

<b>1.000 kg Druckfarbe</b> mit 500 kg VOC		
731 kg Verdünner (100% VOC)	Farb-Aufbereitung	
	Druckprozess	160 kg diffuse VOC Verluste
70 kg Reiniger (100% VOC)	Zwischenreinigung	45 kg diffuse VOC Verluste
	Farbtrocknung	1.063 kg VOC in der Fortluft zur ARA (bei 6,80 g/m <sup>3</sup> in 133.100 Nm <sup>3</sup> Fortluft)
	Weiterverarbeitung	
<u>GESAMT-Input:</u> 1.301 kg VOC Input		<u>GESAMT-Output:</u> 205 kg diffuse VOC-Verluste 1.060 kg VOC-Zerstörung in ARA ca. 2-3 kg VOC im Reingas ca. 33 kg VOC im Abfall

Tab. 33: Spez. Energieverbräuche (Lösemittelfahrweise)

<b>1.000 kg Druckfarbe</b>		
(im Druckprozess enthalten)	<b>Farb-Aufbereitung</b>	
3.185 KWh el. Antriebe 1.010 KWh el. Kühlung 580 KWh el. Druckluft	<b>Druckprozess</b>	
(im Druckprozess enthalten)	<b>Zwischenreinigung</b>	
2.800 KWh Thermalöl (ca. 51% Zwischen-Farbwerks-Trockner (ZFT)/ 49 % Brücken-Trockner (BRT)) 985 KWh el. Gebläse	<b>Farbtrocknung</b>	
(im Druckprozess enthalten)	<b>Weiterverarbeitung</b>	
350 KWh el. Gebläse - 5.785 KWh therm. (Energierückgew.)	<b>Abgasreinigung</b>	
<b>GESAMT-Input:</b> 6.110 KWh el. - 2.985 KWh therm.		

Tab. 34: Spez. Stoffverbräuche und Abfälle (Lösemittelfahrweise)

<b>1.000 kg Druckfarbe</b>		
731 kg Verdünner	<b>Farb-Aufbereitung</b>	
21.875 kg Papier	<b>Druckprozess</b>	1.900 kg Makulatur 90 kg Druckfarbenreste
120 Stck Putzlappen	<b>Zwischenreinigung</b>	120 Stck Putzlappen mit: ca. 1,4 kg Farbresten + 3 kg Lösemittel
	<b>Farbtrocknung</b>	
	<b>Weiterverarbeitung</b>	(Makulatur in Druckprozess enthalten)
	<b>Abgasreinigung</b>	

Die folgenden Tabellen zeigen in gleicher Darstellung die spezifischen Verbräuche und Emissionen für eine Mischfahrweise mit wasserbasierten Farben und einem lösemittelbasierten Abdecklack.

Tab. 35: Spez. VOC-Verbrauchs- und Emissionswerte (Mischfahrweise)

<b>1.000 kg Druckfarbe</b> mit 31 kg VOC		
625 kg Drucklack mit 156 kg VOC	Farb-Aufbereitung	
198 kg Verdünner (100 % VOC)	Druckprozess	58 kg diffuse VOC Verluste
	Zwischenreinigung	
	Farbtrocknung	323 kg VOC in der Fortluft zur ARA (bei 1,38 g/m <sup>3</sup> in 234.370 m <sup>3</sup> Fortluft 69°C)
	Weiterverarbeitung	
<u>GESAMT-Input:</u> 385 kg VOC Input		<u>GESAMT-Output:</u> 58 kg diffuse VOC-Verluste (15,0%) 320 kg VOC-Zerstörung in ARA ca. 3 kg VOC im Reingas ca. 4 kg VOC im Abfall

Tab. 36: Spez. Energieverbräuche (Mischfahrweise)

<b>1.000 kg Druckfarbe</b>		
(im Druckprozess enthalten)	Farb-Aufbereitung	
3.180 KWh el. Antriebe 1.010 KWh el. Kühlung 580 KWh el. Druckluft	Druckprozess	
(im Druckprozess enthalten)	Zwischenreinigung	
5.500 KWh therm. (ca. 42 %ZFT/ 58 %BRT) 980 KWh el. Gebläse	Farbtrocknung	
(im Druckprozess enthalten)	Weiterverarbeitung	
1.300 KWh therm. 450 KWh el. Gebläse	Abgasreinigung	
<u>GESAMT-Input:</u> 6.200 KWh el. 6.800 KWh therm.		

Tab. 37: Spez. Stoffverbräuche und Abfälle (Mischfahrweise)

<b>1.000 kg Druckfarbe</b>		
516 kg Wasser 625 kg Drucklack 198 kg Verdünner	Farb-Aufbereitung	
21.875 kg Papier	Druckprozess	1.900 kg Makulatur 140 kg Druckfarbenreste
120 Stck Putzlappen 1.200 l Wasser	Zwischenreinigung	120 Stck Putzlappen mit: ca. 1,4 kg Farbresten 1.200 l Abwasser (mit ca. 18 kg CSB)
	Farbtrocknung	
	Weiterverarbeitung	(Makulatur in Druckprozess enthalten)
	Abgasreinigung	

### 3.7.3 Referenz-Anlage

#### Kurzbeschreibung der Referenz-Anlage:

In der Referenz-Anlage wird an 6 Tagen in der Woche in 3 Schichten mit insgesamt 3 Flexodruck Zentralzylindermaschinen mit 1,30 m Bahnbreite produziert. Dabei werden an zwei Anlagen überwiegend reine lösemittelbasierte Produkte gefertigt, während an einer Anlage ein relevanter Anteil (> 85%) rein wasserbasierter bzw. gemischter Produkte gefertigt wird.

Die Flexoklisches (Druckformen) werden von spezialisierten Dienstleistern bezogen. Die Druckprodukte werden nach dem Druck aufgewickelt und als Vorprodukte an Markenartikelhersteller geliefert. Eine betriebsinterne Weiterverarbeitung erfolgt nicht.

Mit einem Jahresverbrauch an VOC von ca. 500 t wird die Mengenschwelle der IVU-Richtlinie deutlich überschritten.

Zur Abgasreinigung ist eine katalytische Abgasreinigungsanlage mit Wärmerückgewinnung installiert. Die Fortluftsysteme der Druck-Maschinen sind mit konzentrationsgesteuerten Umluftführungen ausgestattet.

Zur Behandlung der farbverunreinigten Prozessabwässer (aus der Zwischen- und Teilereinigung) bei wasserbasierten Produktionen wird eine Abwasserbehandlungsanlage auf Basis einer Ultrafiltration betrieben.

Für die Reinigung der Farbwerke und anderer farbverunreinigter Maschinenteile kommt eine gekapselte Reinigungsanlage mit integrierter Lösemittelrückgewinnung zum Einsatz.

### Verbrauchs- und Emissionswerte

Tab 38: Jahres -Input-/Output Bilanz einer Verpackungsdruck-Anlage

Material	Menge	Einheit	Bemerkungen	Produkte	Menge	Einheit	Bemerkungen
Papier	10.433	t/a		Vorprodukte	9.700	t/a	
Druckfarben	576	t/a	davon ca. 1/4 wasserbasiert	Abfälle			
mit VOC ca.	189	t/a		Makulaturen	740	t/a	
Verdünner	316	t/a		Farreste	41	t/a	mit ca 10,8 t VOC
Wasser für Reinigung & Verdünnung	666	m <sup>3</sup> /a		verunreinigte Lösemittel-(Wasser)			
Wasser für Kühlung & Klima	51.866	m <sup>3</sup> /a		Gemische	15	t/a	mit ca. 9,8 t VOC
Lappen	144.100	Stck/a		Prozess-Abwasser	545	m <sup>3</sup> /a	
				Putzlappen	144.100	Stck/a	mit ca. 2,5 t VOC
<b>Energie</b>				<b>Abluft</b>			
Energie el	3.320	MWh/a		ARA-Abluft	72.450.000	m <sup>3</sup> /a	
Energie therm.	350	MWh/a		VOC aus ARA	1,38	t/a	
				NOx aus ARA	4,70	t/a	
				CO aus ARA	2,72	t/a	
<b>VOC-Bilanz Werte</b>							
VOC-Input gesamt	505	t/a		VOC diffus	96	t/a	ca. 19% vom Einsatz
				VOC Zerstört	384	t/a	
				VOC Reingas	1,4	t/a	
				VOC Abfall	23	t/a	

### [Ökopol-Branchendatenbank, 2002]

Beim Vergleich der Verbrauchs- und Emissionswerte der Referenzanlage mit den spezifischen Werten der Modell-Anlagen ist zu beachten, dass hier auch sämtliche Nebenprozesse mit erfasst werden.

### VOC-Bilanz:

Wie aus der Tabelle 38 ersichtlich, werden die Anforderungen der EG-Lösemittelrichtlinie, insbesondere auch hinsichtlich des Grenzwertes diffuser Emissionen (= 20%), erfüllt. Wichtige Faktoren für diese vergleichsweise gute Emissionssituation sind die verrohrte Verdünnerzuführung an die Farbwerke, eine Gestellabsaugung sowie die Zuführung der Abluft aus der Teilereinigungsanlage zur Abgasreinigungsanlage.

## 3.8 BVT-Kandidaten

### 3.8.1 Zusammenfassende Darstellung

In der folgenden Tabelle sind, geordnet nach den Prozessstufen, geeignete BVT-Kandidaten für Verpackungsdruck-Anlagen aufgeführt.

Tab. 39: BVT-Kandidaten für Verpackungsdruckanlagen

Nr.	Einsatz	Maßnahme	Prozessstufe	Minderungseffekt
VD-1	lb, wb	Gekapselte Farbmischlanlagen	Farbaufbereitung	Minderung der VOC-Emissionen Verringerung des Farbrestanfalls Reduzierung der Gebindeschrottmengen
VD-2	lb, wb	Sorgfältiger Umgang mit Farben und Lösemitteln	Farbaufbereitung Druck	Minderung der VOC-Emissionen Verringerung des Farbrestanfalls
VD-3	lb	Verrohrte Verdünnerzugabe	Farbaufbereitung Druck	Minderung der diffusen VOC-Emissionen
VD-4	lb	Verbesserte Kapselung der Farbwerke u. Trockner	Druck Trocknung	Minderung der diffusen VOC-Emissionen Geringerer Energieverbrauch der ARA
VD-5	lb, wb	Einsatz automatischer Wascheinrichtungen	Maschinenreinigung	Verringelter Reinigungsmittelverbrauch Minderung der diffusen VOC-Emissionen Verminderung der Abfallmengen
VD-6	lb, wb	Verwendung von Mehrweg-Putzlüchern	Maschinenreinigung Teilereinigung	Verminderung des Hilfsmaterialverbrauches Verminderung der Abfallmengen
VD-7	lb	Gekapselte Teilewaschanlagen mit integrierter Rückgewinnung	Teilereinigung	Verringelter Reinigungsmittelverbrauch Minderung der diffusen VOC-Emissionen Verminderung der Abfallmengen
VD-8	lb,wb	Regelungstechnische Optimierung der Trockner (Aufkonzentration)	Farbtrocknung	Geringerer Energieverbrauch der Trockner Optimierter Betrieb der ARA
VD-9	lb	Optimierte Auslegung der Abgasreingung	Abgasreingung	Geringerer Energieverbrauch der ARA
VD-10	lb	Anschluß von Waschplätzen an die ARA	Grund-/Teilereinigung	Minderung der diffusen VOC-Emissionen
VD-11	wb	Ultrafiltration zur Abwasserreinigung ggf. mit Farbrückgewinnung	Abwasserbehandlung	Verminderung der Abfallmengen Reduzierter Farbenverbrauch

In der Spalte „Einsatz“ wird mit dem Kürzel „lb“ für „lösemittelbasiert“ und „wb“ für „wasserbasiert“ jeweils deutlich gemacht, bei welcher Verfahrensvariante sich die BVT-Kandidaten jeweils sinnvoll einsetzen lassen. Da üblicherweise nur in Mischproduktionen die VOC-Verbrauchs-Schwellenwerte der IVU-Richtlinie überschritten werden, sind insbesondere auch solche Anlagenfahrweisen mit „wb“ erfasst.

### 3.8.2 Kurzbeschreibung der BVT-Kandidaten

#### VD-1: Einsatz Gekapselter Farbmischchanlagen

Mit einer rezepturgesteuerten Mischanlage werden die Farben aus festverrohrten Tanks (bzw. Mehrweg-Farbcontainern) für einen entsprechenden Grundfarbenfächer (meist 8 oder 12 Farben) zusammengeführt und angemischt.

Es entfällt das händische Anmischen mit den entsprechenden VOC-Verlusten in die Raumluft. Da je nach Gesamtsituation bis zu 15% der gesamten VOC-Emissionen im Bereich der Farbaufbereitung entstehen können, besteht hier ein relevantes VOC-Minderungspotenzial.

Auch die Mengen überlagerter Spezialfarbtöne und der Gebindeschrottanfall können signifikant (> 50%) reduziert werden.

Die Maßnahme ist nur bei hohen Farbverbräuchen gleicher Farbtypen und –qualitäten sinnvoll umsetzbar (die Zahl der verschiedenen Farbtöne ist dagegen nicht entscheidend).

#### VD-2 Sorgfältiger Umgang mit Farben und Lösemitteln

Durch Sicherstellung eines ordnungsgemäßen Verschlusszustandes von Behältern können VOC-Emissionen vermieden werden. Durch den sorgfältigen Umgang mit Hilfsstoffen, z.B. bei der händischen Zuführung von Verdünnern und Verzögerern, können Tropf- und Verdunstungsverluste vermieden werden. In der Praxis können durch Handhabungsoptimierungen bei der Farbbereitstellung sowie bei der Maschinen- und Teilereinigung bis zu 50% der diffusen VOC-Emissionen vermieden werden.<sup>26</sup>

Gerade bei hellen Farbtönen spielt der Schutz vor Verunreinigungen (z.B. durch Abdeckung offenstehender Vorlagebehälter) eine zentrale Rolle bei der Vermeidung von entsorgungsbedürftigen Farbresten. Der Verschlusszustand der Farbbehälter ist bei der Lagerung von Restfarben ein wichtiger Faktor für die Haltbarkeit der Farben und damit wiederum für die Höhe der entsorgungsbedürftigen Farbreste.

Das Wissen der Belegschaft über die (Gesundheits- und Umweltschutz-)Vorteile einer sorgfältigen Handhabung sind die wichtigste Voraussetzung für die Umsetzung der Maßnahme. Neben mangelndem Wissen behindert teilweise auch mangelnde Motivation der Belegschaft die Umsetzung der Maßnahme.

---

<sup>26</sup> Die Minderungen sind bezogen auf praxistypische Emissionssituationen, die nicht den Anforderungen der EG-Lösungsmittelrichtlinie entsprechen.

Für die Erschließung des enthaltenen Potenzials sind insbesondere Schulungen und Unterweisungen der Mitarbeiter notwendig. Die durch solche Maßnahmen entstehenden Kosten amortisieren sich durch die erzielbaren Minderausgaben für Farben und Hilfsstoffe meist in kurzer Zeit (< 1 Jahr).

#### VD-3 Automatische Lösemittelzuführung

Die automatische Zuführung von Verdünnern/Verzögerern durch automatische Lösemittelzuführung über ein verrohrtes System verringert einen Teil der diffusen VOC-Emissionen bei der Einstellung der Farbviskosität im Farbkasten. Die diffusen Emissionen entstehen derzeit durch Verdunstungsverluste bei der händischen Zuführung.

Bei Altanlagen ist die Maßnahme mit deutlichen Investitionskosten verbunden, denen verringerte Hilfszeiten und reduzierte Lösemittelverbräuche gegenüberstehen. Es entsteht dennoch ein deutlicher ökonomischer Zusatzaufwand.<sup>27</sup>

Bei Neu-Anlagen ist heute bereits ein Trend zum Einbau derartiger verrohrter Lösungsmittelzufuhrsysteme festzustellen, da neben den Lösemittel einsparungen insbesondere auch die (betriebswirtschaftlich relevanteren) Rüstzeiten verkürzt werden können.

#### VD-4 Optimierte Luftführung an Farbwerken und Zwischentrocknern

Durch eine Optimierung der Luftführung in den Trocknern können die diffusen, nicht von der Abgasreinigung erfassten Emissionen, aus den Farbwerken vermindert werden.

Als Umsetzungsproblem ist insbesondere der hohe Investitionskostenbedarf bei der Nachrüstung von Altanlagen zu benennen. Die Zugänglichkeit der Anlage wird durch die verbesserte Kapselung eingeschränkt, so dass teilweise höhere Hilfszeiten auftreten.

#### VD-5 Einsatz automatischer Wascheinrichtungen für die Zwischenreinigung

Durch die höhere Reinigungsmitteleffizienz beim Waschvorgang in automatisierten Waschanlagen gegenüber der Handreinigung werden der Reinigungsmittelverbrauch und die daraus resultierenden VOC-Emissionen (bei lösemittelbasierten Reinigern) vermindert.

Als Umsetzungsproblem ist bei Altanlagen ein teilweise hoher Investitionskostenbedarf zu nennen, dem jedoch ein verringelter Personalaufwand in den Hilfszeiten gegenübersteht.

---

<sup>27</sup> Nach Detailuntersuchungen von Ökopol betragen diese Kosten für konkrete Anlagenkonfigurationen >> 1.000 DM/t VOC-Minderung.

Durch die Maßnahme kommt es neben der VOC-Reduktion insbesondere zu einer Reduzierung der Putzlappenverbräuche und zu einem Minderverbrauch an Lösemitteln. Flüssige Reinigungsreste können durch Lösemittelrückgewinnungsanlagen (=> VD-7) einer innerbetrieblichen Kreislaufführung zugeführt werden.

Vor dem Hintergrund der positiven ökonomischen Effekte durch verringerte Hilfszeiten ist bei Neu-Anlagen in Deutschland ein automatischer Trend zum Einbau von derartigen automatischen Waschanlagen zu beobachten.

#### VD-6 Verwendung von Mehrwegputztüchern

Werden statt der Einwegputzlumpen Mehrwegputzlappen für die Vielzahl der händischen Reinigungsarbeiten an farb- und lösemittelverunreinigten Teilen verwendet, ergeben sich positive Effekte in Hinblick auf die Abfallsituation.

Zwar liegen die spezifischen Kosten pro Putzlappen bei Einweg- und Mehrwegsystemen in etwa in gleicher Größe, aber betriebliche Erfahrungen zeigen, dass die Mehrwelttücher zu einem sparsameren Umgang mit diesen Hilfsmitteln veranlassen. Neben Umwelt- und Ressourcenefekten können so auch positive ökonomische Effekte erreicht werden.

#### VD-7 Gekapselte Teilewaschanlagen mit (integrierter) Lösemittelrückgewinnung

Durch den Einsatz von gekapselten Waschanlagen zur Teilereinigung werden diffuse Emissionen verringert und eine erhöhte Effizienz beim Waschvorgang erzielt, so dass der Reinigungsmittelverbrauch und die daraus resultierenden VOC-Emissionen vermindert werden. Optimal gekapselte Waschanlagen sind mit einer Lösemittelabschottung ausgestattet, so dass diffuse Emissionen beim Öffnen der Anlage vermindert werden. Auch wenn im Bereich der Teilereinigung erhöhte Arbeitsschutzanforderungen gestellt werden, ist der Einsatz von gekapselten, automatischen Teilewaschanlagen, besonders sinnvoll.

Wird durch die Maßnahme die händische Reinigung teilweise ersetzt, ist die Umsetzung mit einer leichten Erhöhung des Stromverbrauchs und einer Veränderung der Art der Reinigungsmittelabfälle verbunden. Die Entsorgungsmenge verunreinigter Putzlappen sinkt und dafür fallen höhere Mengen flüssiger Rückstände an. Durch den Einsatz angepasster Redestillations- bzw. Refiltrationsanlagen kann hier eine kostengünstige und energieeffiziente Kreislaufführung realisiert werden.

Waschanlagen mit direkt angeschlossener (integrierter) Redestillationseinheit vermeiden zusätzliche Emissionen durch Umfüllvorgänge und sind energetisch etwas effizienter als getrennte Einheiten.

## VD-8 Luft- und regelungstechnische Optimierung der Trockner

Eine deutlich verbesserte Energieeffizienz der Farbtrocknung kann durch die beiden folgenden Maßnahmen erfolgen:

- Installation einer konzentrationsgesteuerten Umluftführung.  
Konzentrationsgesteuert wird hierbei ein Teilstrom der Trocknerfortluft erneut als Zuluft zu den Trocknerdüsen verwendet. Die in der Fortluft enthaltene Wärmeenergie kann hierdurch erneut genutzt werden.  
Als weiterer Effekt erfolgt eine Erhöhung der Lösemittelbeladung der Trocknerfortluft, somit ergibt sich ein geringeres Rohgasvolumen bei gleichzeitig höherer Beladung vor einer anschließenden Abgasreinigung.
- Einsatz indirekt beheizter Trockner  
Der Einsatz indirekt beheizter Trockner befördert die vorgenannte Maßnahme deutlich, da aufgrund des Fehlens einer offenen Zündflamme eine Beladung (Aufkonzentration) der Trocknerluft bis auf 50 % UEG, statt auf nur 25% UEG, zulässig ist. Hierdurch wird eine weitere deutliche Reduzierung der aufzuheizenden und abzuführenden Luftmengen erreicht.<sup>28</sup> Die Wärmetauscherverluste der indirekten Beheizung werden hierdurch im Normalfall deutlich überkompensiert.

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

Bei Neu-Anlagen ist in Deutschland aufgrund der positiven ökonomischen Effekte ein deutlicher Trend zum Einbau regelungstechnisch optimierter Trockner erkennbar.

## Abgasreingung VD-9 Optimierte Gesamtauslegung der Abgasreingungsanlage

Bei der Auslegung von Abgasreingungsanlagen sind mittlere reale Produktionszustände (Farblegelungen und Flächendeckungen) heran zu ziehen.<sup>30</sup> Hierdurch kann vermieden werden,

---

<sup>28</sup> Allerdings ist die Luftmenge nur theoretisch halb so groß, da an den meisten Trocknern/Farbwerken aufgrund der geringen Lösemittelbeladungen, die Volumenströme nicht durch die Konzentration, sondern durch das für die Trocknung notwendige Blasvolumen und die zur Vermeidung von Leckluft dann notwendigen Absaugvolumen definiert werden. Dennoch ergeben sich meist positive Gesamteffekte.

<sup>29</sup> In der Praxis finden sich vielfach Abluftreinigungsanlagen die für theoretische maximale Trocknerfortluftbeladungen ausgelegt wurden. Derartige theoretische Produktionen (z.B. Vollfächendruck an allen 8 Farbwerken, also 800% Flächendeckung) liegen weit oberhalb realer Betriebszustände. In der Konsequenz werden diese Anlagen durchgehend weit unterhalb ihres Betriebsoptimums gefahren,

dass die Abgasreinigungsanlagen über längere Zeiträume unterhalb der optimalen Zuluftbeladung und damit nicht in energetisch optimalen Betriebszuständen (autotherme Fahrweise) betrieben werden.

Beim Anschluss von weiteren VOC-Emissionsquellen neben den Farbtrocknern an die Abgasreinigung, z.B. Farbmischchanlage, Teilereinigungsanlage oder Klebestationen, sind konzentrationsgeregelte Volumenstromsteuerungen sowie ggf. Puffereinheiten (Molsiebe o.ä.) vorzusehen, die gewährleisten, dass die Zuluftbeladung möglichst dicht am Auslegungsoptimum der Abgasreinigung geführt wird.

Durch die skizzierten Auslegungsoptimierungen können in vielen Fällen signifikante positive ökologische Effekte erreicht werden. Diese Effekte ergeben sich aus geringeren Stützenergiebedarfen und der damit verbundenen Verringerung der Sekundäremissionen aus diesen Stützfeuerungen.

Während bei Altanlagen die nachträgliche Optimierung vielfach sehr schwierig und kostenaufwändig ist, ist die Umsetzung dieser Maßnahmen bei Neuanlagen (fast) durchgehend mit positiven Kosteneffekten verbunden .

#### VD-10 Anschluss von Waschplätzen und Waschanlagen an die Abgasreinigung

Werden die meist installierten Absaugungen an den Teilewaschanlagen sowie oberhalb der Waschplätze zur händischen Teilereinigung an die Abgasreinigungsanlage angeschlossen, so werden die diffusen VOC-Emissionen, die bei der Teilereinigung entstehen, einer Zerstörung zugeführt.

Als Umsetzungsproblem ist der Investitionskostenbedarf zu nennen. Da bei der Abluft der Teilereinigung Lösemittel-Peaks auftreten können, müssen aus Gründen des Explosionsschutzes entsprechende peak-puffer einschließlich der entsprechenden Regelungstechnik im Abluftsystem installiert werden.

Durch die Maßnahme kann es in einigen Fällen neben der VOC-Reduktion zu einem erhöhten Energiebedarf der Abgasreinigung kommen, wenn die Beladung der Abluft mit Lösemitteln vermindert und somit die Effizienz der Abgasreinigung gesenkt wird.

---

30 In der Praxis finden sich vielfach Abluftreinigungsanlagen die für theoretische maximale Trocknerfortluftbeladungen ausgelegt wurden. Derartige theoretische Produktionen (z.B. Vollfächendruck an allen 8 Farbwerken, also 800% Flächendeckung) liegen weit oberhalb realer Betriebszustände. In der Konsequenz werden diese Anlagen durchgehend weit unterhalb ihres Betriebsoptimums gefahren,

Die Maßnahme ist grundsätzlich erschließbar, der Installationsaufwand ist allerdings stark von den jeweiligen räumlichen Gegebenheiten und der installierten Abgasreinigungsanlage abhängig.

#### VD-11 Abwasserreinigung durch Ultrafiltration mit Farbrückgewinnung

Erfolgt die Reinigung der Prozessabwässer aus der Reinigung wasserbasierter Farbwerke nicht, wie in der Vergangenheit meist üblich, durch Fällung und Flockung, sondern durch den Einsatz von Ultrafiltrationsanlagen, so reduzieren sich die Mengen an entsorgungsbedürftigen Sekundärabfällen (und der Hilfsstoffeinsatz) deutlich.

Darüber hinaus können aus dem Filtrationsrückstand verdrückbare Farben zurückgewonnen werden. Bei der Behandlung gemischter Abwässer aus verschiedenen Farbwerken ergibt sich dabei ein Farbgemisch, welches in untergeordneter Menge dunklen Farbtönen (vorzugsweise Schwarz und Dunkelbraun) beigemengt werden kann. Wird das Abwasser einzelner Farbwerke getrennt (auch chargeweise) behandelt, lässt sich in Einzelfällen sogar ein Ton-in-Ton Wiedereinsatz realisieren.

Die ökonomischen Effekte der Farbrückgewinnung sind in hohem Maße von den eingesetzten Farben bzw. vom Farbbedarf abhängig. Günstig ist die Situation, wenn ein hoher Bedarf an einfachen Schwarztönen besteht oder wenn sehr große Mengen einzelner Farbtöne verarbeitet werden. Der Einsatz von Ultrafiltrationsanlagen anstatt von Fällungs-/Flockungsanlagen ist bei Gesamtkostenbetrachtungen, meist auch unabhängig von einer Farbrückgewinnung, ökonomisch sinnvoll.

#### 3.8.3 Bewertung der BVT-Kandidaten

Die folgende Tabelle zeigt eine schematische Kurzbewertung der skizzierten BVT-Kandidaten.

Tab. 40: Bewertung der BVT-Kandidaten für Verpackungsdruck-Anlagen

Nr.	Maßnahme	L	W	A	E	R	Zusatzkosten	Hemmnisse
VD-1	Gekapselte Farbmischanlagen	?	-	?	-	?	Mittel	Nur bei hohem Farbverbrauch und begrenzter Zahl von Qualitäten
VD-2	Sorgfältiger Umgang mit Farben und Lösemitteln	?	-	?	-	?	selbsttragend	MA-Motivation
VD-3	Verrohrte Verdünnerzugabe	?	-	-	-	-	Bei Neuanlagen gering	Keine - Trend bei Neuanlagen
VD-4	Verbesserte Kapselung der Farbwerke u. Trockner	?	-	-	?	-	Bei Neuanlagen gering	Aufwändig bei Altanlagen, teilweise aufwändiger Handhabung
VD-5	Einsatz automatischer Wascheinrichtungen	?	-	-	-	-	Bei Neuanlagen gering	Keine - Trend bei Neuanlagen
VD-6	Verwendung von Mehrweg-Putztüchern	-	-	?	-	?	selbsttragend	keine
VD-7	Gekapselte Teilewaschanlagen mit integrierter Rückgewinnung	?	-	?	-	-	mittel	keine
VD-8	Regelungstechnische Optimierung der Trockner (Aufkonzentration)	?	-	-	?	-	Bei Neuanlagen mittel	Abhängig von baulichen Gegebenheiten
VD-9	Optimierte Auslegung der Abgasreinigung	?	-	-	?	-	gering – hoch (bei Altanlagen)	Bei Altanlagen vielfach technologisch schwierig
VD-10	Anschluss von Waschplätzen an die ARA	?	-	-	?	-	mittel hoch (bei Altanlagen)	Abhängig von baulichen Gegebenheiten
VD-11	Ultrafiltration zur Abwasserreinigung ggf. mit Farbrückgewinnung	-	-	?	-	-	Gering bis selbsttragend	Farbrückgewinnung abhängig vom Farbspektrum

Legende: L = Luftschatzstoffe und Schadstoffmenge, W = Wasserverbrauch und Abwasserbelastung, A = Abfallmenge und Abfallkontamination, E = Energieverbrauch, R = Ressourceneinsatz

Die dominierenden Wirkungen sind durch entsprechende Fettungen hervorgehoben. Bei Beachtung dieser Gewichtung ergeben sich auch bei gegenläufigen Wirkungen in verschiedenen Umweltmedien jeweils eindeutige Gesamtbewertungen.

### 3.8.4 Neue fortschrittliche Verfahren

#### VD-A Umstellung auf UV-Farbsystem

Lösemittelemissionen aus dem Farbsystem werden bei einer Umstellung auf UV-härtende Farben vollständig vermieden. Dies betrifft sowohl die Lösemittelemissionen aus den Farben selbst als auch die Emissionen aus dem Hilfsstoffeinsatz (Verdünner, Verzögerer etc.).

Die Umstellung auf UV-härtende Farbsysteme ist sowohl mit Investitionskosten als auch mit erhöhten Betriebskosten aufgrund des zusätzlichen Energieverbrauchs zur UV-Trocknung verbunden.

Umstellungsprobleme treten insbesondere bei Lebensmittelverpackungen auf, wo hohe Anforderungen an die Echtheiten der Farben gestellt werden. Die Echtheiten können jedoch durch den Auftrag einer zusätzlichen Wasserlackschicht gewährleistet werden. Des weiteren kann die Umstellung mit Problemen bei der Einhaltung konstanter Trocknungstemperaturen verbunden sein.

Da die farbhärtende UV-Strahlung von bestimmten Farbpigmenten besonders stark reflektiert wird, treten teilweise Trocknungsprobleme beim flächigen Farbauftrag auf, insbesondere bei Weiß, teilweise jedoch auch beim Auftrag von Blau und Schwarz.

Neben dem VOC-Reduktionspotenzial ist die Maßnahme mit einem erhöhten Strombedarf zum Betrieb der UV-Trockner sowie durch zusätzliche Ozonemissionen aus dem Trocknungsprozess verbunden. Aus Arbeitsschutzgründen muss das entstehende Ozon abgesaugt und über Dach geführt werden. In Anbetracht der sehr niedrig gehaltenen Immissionsgrenzwerte für Ozon in der derzeit auf EU-Ebene diskutierten Richtlinie zur Luftqualität ist damit zu rechnen, dass an vielen Standorten ein Ozonfilter installiert werden müsste, um diese Grenzwerte sicher einhalten zu können. Solche Filter sind derzeit zu vergleichsweise geringen Kosten am Markt verfügbar.

Ökonomisch gesehen sind die Potenziale der UV-Technik grundsätzlich erschließbar, jedoch davon abhängig, in welchem Maße sich UV-basierte Flexodruck-Farbsysteme auf dem Markt etablieren können. Die Entwicklung ist besonders davon abhängig, in welchem Maße derzeit bestehende Vorbehalte der Kunden gegenüber UV-Farbsystemen ausgeräumt werden können.

Die eventuellen Mehrkosten beim Einkauf von UV-Farben gegenüber konventionellen Farben lassen sich nicht beziffern, da die Farbpreise, je nach Kundenanforderung und Vertragsbedingungen mit dem Farblieferanten, hohe Spannbreiten aufweisen. Näherungsweise wird hier davon ausgegangen, dass die derzeit um ca. 100% höheren Kosten pro Kilogramm UV-Farbe in etwa ausgeglichen werden durch den höheren Festkörperanteil der UV-Farbe pro Kilogramm, durch verminderte UV-Farbschicht-Aufträge sowie durch den Wegfall der oben genannten Verdünner/Verzögerer-Einkäufe. Zusätzliche positive Kosteneffekte würden sich bei einer vollständigen Umstellung der Produktion durch den Wegfall einer nachgeschalteten Abgasreinigungsanlage zur Beseitigung der VOC-Emissionen ergeben.

## VD-B Einsatz von Teilewaschanlagen auf Laugenbasis

Durch die Verwendung von wässrigen Reinigungsmitteln auf Laugenbasis in automatischen Teile-Waschanlagen lösemittelbasiert arbeitender Druckanlagen werden die VOC-Emissionen aus den entsprechenden Reinigungsprozessen vollständig vermieden.

Neben dem Investitionskostenbedarf sowie erhöhten laufenden Kosten für Reinigungsmittel sind umfangreiche Materialverträglichkeitstests notwendig, um das Anlösen oder Korrodieren von Maschinen- und Druckformteilen zu vermeiden. Teilweise resultieren hieraus Anwendungsbeschränkungen bezüglich der verwendbaren Materialien.

Die Anwendung dieser Mittel bei Zwischenreinigungen an der Maschine ist nicht sinnvoll, da es hier zu Einträgen in die Farbwannen kommen kann und dadurch das Risiko von Druckstörungen, mit den entsprechend negativen ökonomischen und ökologischen Effekten besteht.

Durch die Maßnahme kommt es neben der VOC-Reduzierung zu einer Erhöhung der Abfall bzw. der Abwassermenge.

Die Maßnahme ist grundsätzlich erschließbar, sie hängt jedoch von der Weiterentwicklung der Technik ab, insbesondere was die Materialverträglichkeit der eingesetzten VOC-freien Reinigungsmittel bzw. die Anpassung der entsprechenden maschinenbautechnischen Teile betrifft.

## VD-C Einsatz VOC-reduzierter Reinigungsmittel

Durch den Einsatz von VOC-reduzierten Reinigungsmitteln kann ein Teil der VOC-Emissionen aus Reinigungsmitteln vermieden werden.

VOC-reduzierte Reinigungsmittel enthalten zur Anlösung von Verschmutzungen beispielsweise Anteile von 5-15% Glykol; auf dem Markt werden Gemische auf Wasserbasis (mit Kohlenwasserstoff- und Ester-Anteilen) sowie Produkte auf Pflanzenölbasis angeboten.

Die Flüchtigkeit der VOC-reduzierten Reinigungsmittel ist gegenüber dem Einsatz von Alkoholen und leicht flüchtigen Benzinern als Reinigungsmittel mit deutlich verminderten VOC-Emissionen verbunden, da die flüchtigen Anteile wesentlich verringert sind.

Als Umsetzungsproblem sind einerseits die grundlegend andersartige Handhabung sowie technische Schwierigkeiten zu benennen. Aus diesen Gründen gibt es bislang praktisch keine Referenzanwendungen in der Betriebspraxis. Darüber hinaus sind die angebotenen Mittel teurer als die derzeit üblichen Reinigungsmittel.

Die andersartige Handhabung ist durch die geringe Flüchtigkeit und durch die farbfremden Bestandteile der Mittel begründet. Zum einen bedeutet dies, dass ein erhöhter Zeitaufwand zur Reinigung erforderlich ist (längere Einwirkzeit notwendig), zum anderen ist bei der Handreini-

gung eine größere Sorgfalt notwendig, da versehentlich ins Farbsystem gelangende Tropfen zu Störungen führen können.

Diese Getrennthaltung von Reinigungsmitteln und Farbe ist bei einigen Druckwerkskonstruktionen technisch bedingt nur schwer einzuhalten. Aus diesem Grund ist in erster Linie der Einsatz in der händischen Teilereinigung außerhalb der Druckmaschinen praktikabel. Dabei müssen allerdings Materialverträglichkeiten, u.a. in Bezug auf den Korrosionsschutz, berücksichtigt werden.

Beim Einsatz von hochsiedenden Reinigungsmitteln auf Pflanzenölbasis besteht bei unsachgemäßer Anwendung (Tropfverluste) eine erhöhte Rutschgefahr, der durch erhöhte Sorgfalt begrenzt werden muss.

Durch die Maßnahme kann es neben der VOC-Reduktion in untergeordnetem Maße zu einer Belastung auf der Abfall- oder Abwasserseite kommen. Das Minderungspotenzial der Maßnahme ist grundsätzlich schwer erschließbar, da mit der Einführung technische Nachteile verbunden sind, denen neben der VOC-Reduzierung und einem erhöhten Gesundheitsschutz keine weiteren Vorteile gegenüber stehen.

Die erfolgreiche Realisierung setzt die Zusammenarbeit zwischen Maschinenherstellern und Reinigungsmittellieferanten voraus, um praxisnahe technische Lösungskonzepte für eine sinnvolle Handhabung dieser Mittel an den Maschinen zu finden

#### VD-D Komplette Umstellung auf wasserbasierte Farbsysteme bei Mischproduktionen

Eine komplette Umstellung auf wasserbasierte Farbsysteme bedeutet bei Mischproduktionen insbesondere, dass auch Primer, Abdecklacke und Spezialfarben (insbes. im Metallic-Bereich) komplett auf Wasserbasis umgestellt werden.

Wurde die Produktion bislang ohne Abgasreinigung betrieben, so werden die VOC-Emissionen relevant gesenkt. Wurde zuvor eine Abgasreinigung betrieben, so musste hier mit hoher Wahrscheinlichkeit mit einer Stützflamme zugefeuert werden. Der Wegfall dieser Abgasreinigung führt zu einer Reduzierung des Energieverbrauches sowie zu einer Vermeidung der Sekundärremissionen aus der Abgasreinigung.

Insbesondere beim Bedrucken von nicht saugenden Bedruckstoffen (z.B. flexible Kunststofffolien) ist mit Umstellungsproblemen bezüglich der Farbtrocknung und in Hinblick auf Echtheiten (z.B. bei Lebensmittelverpackungen) zu rechnen.

Aufgrund der bestehenden Kostenvorteile (insbesondere durch die einfachere Anlagentechnik) beim Einsatz wasserbasierter Farben ist davon auszugehen, dass der überwiegende Anteil der

in diesem Druckverfahren sinnvoll produzierbaren Produkte bereits derart gedruckt wird. Weitere Umstellungspotenziale finden sich somit nur in einem schmalen Produktsegment, in welchem sich durch technologische Weiterentwicklungen der wasserbasierten Farbsysteme das technologisch zu präferierende Druckverfahren verändert (z.B. in Spezialbereichen des Foliendrucks).

Die Maßnahme ist neben der VOC-Reduktion mit einem erhöhten Energiebedarf zur Farbtrocknung verbunden.

Das angeführte Minderungspotenzial der Maßnahme ist grundsätzlich erschließbar. Allerdings ist dies sehr stark von der technologischen Entwicklung sowie von der Marktentwicklung der wasserbasiert bedruckbaren Produkte abhängig.

## 4. Illustrations-Tiefdruck

### 4.1 Produkte & Bedruckstoffe

Das Produktspektrum dieses Druckverfahrens ist relativ eng. Hauptsächlich werden Zeitschriften mit hohen Auflagen (meist deutlich größer 500.000 Drucke) produziert. Weitere typische Produkte sind Kataloge und Werbedrucksachen hoher Qualität und hoher Auflage. Im Kontrast zum eng umrissenen Produktspektrum steht das herausragende Marktvolumen des Illustrations-Tiefdruckes.

Im Illustrations-Tiefdruck wird mit sehr hohen Druckgeschwindigkeiten gearbeitet. Damit das Papier dabei die Feinheiten des Druckbildes übernehmen kann, muss es eine sehr gleichmäßige Farbannahme haben. Bei Illustrations-Tiefdruckpapieren ist auch die Glätte der Oberfläche von großer Bedeutung. Ebenfalls aus den hohen Druckgeschwindigkeiten resultiert die Anforderung, die an die Zugfestigkeit des Papiers gestellt werden. Die im Tiefdruck verwendeten Papierrollen erreichen Breiten von 3.000 mm und mehr.

### 4.2 Druckprinzip

Zum Tiefdruck gehören die Druckverfahren, bei denen die druckenden Stellen der Druckform (*Näpfchen*) vertieft liegen. Die Druckform wird durch Eintauchen in dünnflüssige Druckfarbe eingefärbt und überschüssige Farbe anschließend mit einem Stahlmesser (*Rake*) abgezogen. Während des Druckvorganges wird die Druckfarbe aus den Vertiefungen der Druckform direkt auf den *Bedruckstoff* übertragen (direktes Druckverfahren).

Da man im Tiefdruck im Gegensatz zu den übrigen Druckverfahren sowohl die Farbschichtdicke (*Näpfchentiefe*) als auch die Rasterflächendeckung (*Näpfchenöffnung*) bildmäßig variieren kann, ergeben sich drei unterschiedliche Möglichkeiten, einen Bildeindruck auf einem *Bedruckstoff* zu erzeugen: Variation der Näpfchentiefe, der Näpfchenöffnung (Fläche) oder der Tiefe und Öffnung der *Näpfchen*. Zusammen mit einer schnellen Farb-Trocknung können auf diese Art und Weise sehr hochwertige Druckprodukte in hohen Auflagen erstellt werden.

### 4.3 Druckfarben

Der Illustrations-Tiefdruck stellt, bedingt durch die Maschinengeschwindigkeiten, hohe Anforderungen an die Farb-Trocknung. Daher kommen Farben mit einem großen Anteil des leichtflüch-

tigen Lösemittels Toluol zum Einsatz. Der Trocknungsvorgang verläuft unabhängig von der Art des Bedruckstoffes rein physikalisch. Die Lösemittelkomponente verdunstet, wobei der Verdunstungsvorgang unter Zufuhr von Wärme (Heißlufttrockner/beheizte Papierbahnhführungen) beschleunigt wird. Als Bindemittel bzw. Filmbildner werden **Hartharze, z. T. auch Ethylcellulose** verwendet. Die folgende Tabelle 41 zeigt eine durchschnittliche Basisrezeptur für den Illustrations-Tiefdruck.

Tabelle 41: Durchschnittliche Basisrezeptur von Illustrations-Tiefdruckfarben

Bestandteil	Inhaltstoffe	Anteil (Gew.%)
Bindemittel - Lösemittelkomponente - Bindemittelkomponente	Toluol z.B.: <a href="#">Phenolharze, Kohlenwasserstoff-Harze, Ethylcellulose</a>	50 - 60% 30 - 40%
Farbmittel	organische, anorganische Pigmente (überwiegend werden Skalafarben eingesetzt)	8 - 20%
Farb-Hilfsmittel	z.B. <a href="#">Wachse, Dispergierhilfsmittel, evtl. Entschäumer</a>	1 - 4%
Physik. Eigenschaften: Festkörpergehalt 35 - 55%; unterer Heizwert >20 MJ/kg; Flammpunkt < 21 °C		

Entsprechend der vorstehenden Basisrezeptur bezogene Druckfarben werden in der Druckerei selbst für den eigentlichen Druckvorgang nochmals deutlich verdünnt. Der Toluolgehalt in der druckfertigen Farbe liegt bei ca. 70 – 80 Gew.%.

## 4.4 Druckmaschinen

### 4.4.1 Installierte Maschinenbasis

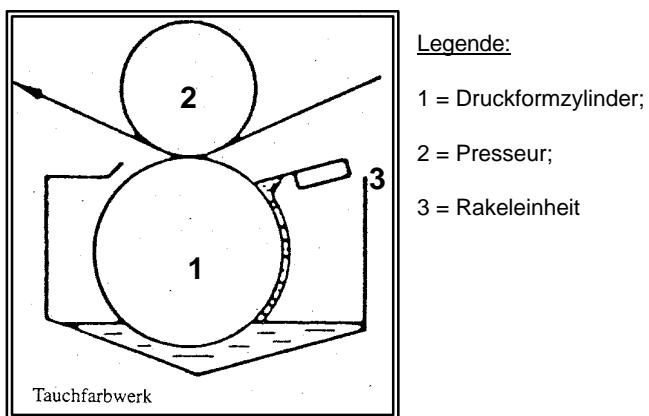
In Deutschland sind derzeit 16 Betriebe im Illustrations-Tiefdruck tätig. Etwa 50% dieser Betriebe sind den großen Verlagen angegliedert. Diese betreiben ca. 90 Rotationen mit schätzungsweise 850 Druckwerken. Mehr als die Hälfte der Maschinen hat eine Druckbreite von > 2,20 m [BVD, 1996]. Mittlerweile kommen Anlagen mit einer Druckbreite von bis zu 3,60 m zum Einsatz, während Anlagen mit 4 m Druckbreite in der Projektierung sind.

### 4.4.2 Grundaufbau

Beim Tiefdruck erfolgt die Farbaufnahme und -übertragung direkt durch den Druckformzylinder. Durch diesen einfachen Druckwerksaufbau lassen sich hohe Bahngeschwindigkeiten realisie-

ren. Die Farbaufnahme und -übertragung setzt sich aus den in Abb. 3 dargestellten Teilen zusammen.

Abb. 15: Aufbau eines Tiefdruckfarbwerkes



## 4.5 VOC-Einsatz

Tabelle 42: VOC-relevante Einsatzstoffe im Illustrations-Tiefdruck

Stoff	Dampfdruck [bei 20°C]	Spezifische ]Einsatzmenge [in Gew.% der eingesetzten Farbe]	Einsatzzweck
Toluol	29 hPa	54,7%	Lösemittel in Farbe und Verschnitt
		100,0%	Verdünnungsmittel im Druckprozess
		31,8%	Reinigungsmittel (für verschiedene Reinigungsarbeiten)
Ethanol	59 hPa	<< 1%	Trocknungsbeschleuniger bei Zylinderkorrektur
Terpentinersatz	0,4 hPa	<< 1%	Reinigungsmittel bei Zylinderkorrektur
Aceton	240 hPa	<< 1%	Reinigungsmittel bei Zylinderkorrektur

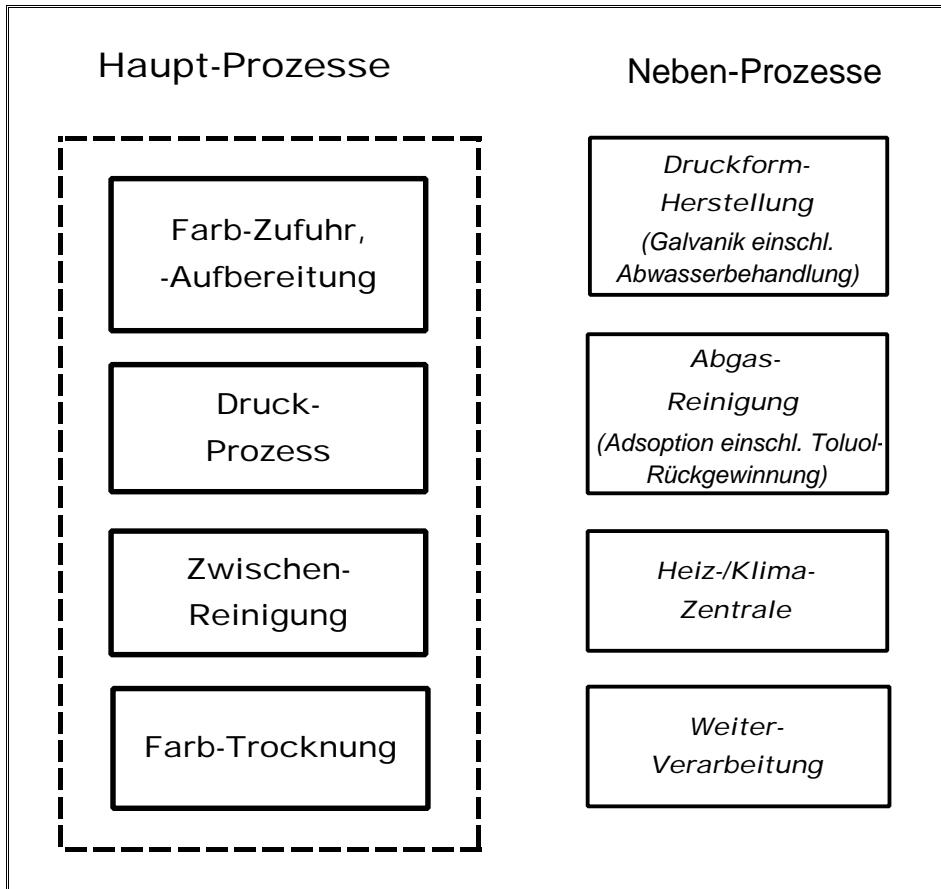
[Ökopol 1999]

## 4.6 Prozessschema und charakteristische Stoffflüsse

### 4.6.1 Systemgrenzen der BVT-Betrachtung

Das folgende Schema zeigt die relevanten Fertigungsprozesse einer Illustrationstiefdruck-Anlage im Überblick:

Abb. 16: Fertigungsprozesse in einer Illustrationstiefdruck-Anlage



#### 4.6.2 Hauptprozesse

##### Farb-Aufbereitung

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

##### Druck-Prozess

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

zugeführt. An Andruckmaschinen werden Toluol-Emissionen allerdings in einigen Betrieben nicht von der Abluftreinigung erfasst, da diese Betriebsteile nicht an die Absauganlagen angeschlossen sind. Die Mengenrelevanz des Andrucks ist aufgrund der heutigen digitalen Proof-möglichkeiten allerdings stark rückläufig.

Zwischenreinigung:

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

Farbtrocknung

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

#### 4.6.3 Nebenprozesse

Druckform-Herstellung:

Bei der Herstellung der Tiefdruckzylinder für den Illustrations-Tiefdruck handelt es sich um reine Metallbearbeitungsprozesse (Schleifen, Drehen, Galvanisieren (Aufkupfern & Verchromen), Entfetten) mit den für diese Prozesse typischen Umweltwirkungen<sup>31</sup>. Die eigentliche Bebildung des Druckzylinders durch elektronische Gravur ist dagegen weitgehend frei von Umweltwirkungen. Diese Prozesse finden in vollständig separaten Anlagenteilen bzw. bei externen Dienstleistern statt. Aus diesem Grund werden sie hier nicht weiter beschrieben.

Bei der Korrektur von Druck-Zylindern wird zur Reinigung meist Toluol und gelegentlich Ethanol eingesetzt. Bei hartnäckigen Farbresten kommen zusätzlich Aceton, Terpentinersatz und Petroleum zum Einsatz. Bei der anschließenden elektrolytischen Entfettung wird teilweise eine etwa 5%-ige Ethanol- oder Methanolösung verwendet, um die Oberflächenspannung herabzusetzen. Ein großer Teil dieser Lösungsmittel verdunstet, der übrige Teil gelangt ins Abwasser.

---

<sup>31</sup> Bezuglich der BVT-Beschreibung dieser Prozessschritte wird auf das BREF-Dokument zur „Behandlung metallischer Oberflächen“ verwiesen.

Da die Korrekturplätze aus Arbeitsschutzgründen mit Abluftabsauganlagen ausgestattet sind, werden die verdunstenden VOC erfasst und über Dach abgeleitet. Eine Zuführung zu den Adsorptionsanlagen des eigentlichen Druckprozesses scheidet aufgrund der wechselnden und teilweise aggressiv ätzenden Zusammensetzung der abgesaugten Abluft der Korrekturplätze aus.

#### Grund- & Teillereinigung:

Die Reinigung der Druckzylinder erfolgt in speziellen Zylinderwaschanlagen, deren Abluft ebenfalls abgesaugt und der Abluftreinigung zugeführt wird. Periodisch werden Grundreinigungsarbeiten an den Maschinen im Rahmen von grundlegenden Wartungs- oder Überholungsmaßnahmen durchgeführt.

Diese Reinigungsarbeiten werden vielfach mit Hilfe von Toluol oder anderen VOC-haltigen Reinigungsmitteln durchgeführt. Hierbei können relevante diffuse VOC-Emissionen auftreten.

#### Abluftreinigung:

Die mit Toluol beladene Abluft aus dem Druck und den Reinigungsprozessen wird leistungsfähigen Abluftreinigungsanlagen zugeführt, deren Adsorber sehr hohe Abscheidegrade (> 99,5%) erreichen.

Zu erhöhten Toluolemissionen kann es in Ausnahmefällen bei „Durchbrüchen“ der Adsorber in ungünstigen Beladungssituationen kommen. Derartige Durchbrüche lassen sich durch den Einsatz moderner Mess- und Regeltechnik (kontinuierliche Messungen) weitestgehend vermeiden.

Nach der Regeneration der Adsorber mit Wasserdampf erfolgt die Rückgewinnung des darin enthaltenen Toluols durch Strippen. Bei der Wiederverwendung des Desorptionswassers treten marginale Toluolemissionen durch die im Wasser verbliebenen Toluolanteile auf.

Zu zusätzlichen Toluolemissionen führt das Trockenfahren der Adsorber unmittelbar nach der Desorption. Die noch feuchte Aktivkohle hat praktisch kein Adsorptionsvermögen für das Toluol der zugeführten Abluft, so dass es in den ersten 30 – 60 sec der Wiederinbetriebnahme des Adsorbers zur (allerdings schnell abnehmenden) direkten Freisetzung des Toluols kommt. In fortgeschrittenen Anlagen wird die Abluft aus diesen Anfahrzuständen über spezielle Luftführungen erneut der Zuluft der Abluftreinigung zugeführt, so dass diese Emissionen vermieden werden.

Weiterverarbeitung:

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

## 4.7 Aktuelle Verbrauchs- und Emissionswerte

### 4.7.1 Referenz-Anlage

Tab. 43: Jahres -Input-/Output Bilanz einer Illustrationstiefdruck-Anlage

INPUT				OUTPUT			
	Menge	Einheit	Bemerkungen		Menge	Einheit	Bemerkungen
<b>Vor-Produkte</b>				<b>PRODUKTE</b>			
Fremdbezug	3.100	t/a		Vorprodukte	86.366,77	t/a	Davon ca. ¼ Teill-Produkte
<b>MATERIAL</b>				<b>ABFALL</b>			
Bedruckstoff	91.300,00	t/a		Altpa- pier/Makulatur	8.005,20	t/a	
Druck-Farben	2.210,20	t/a	Einschließlich der Verschnitt-Mengen	Farb-/Lackreste	15,69	t/a	Büb,
Wasser	158.150,00	cbm/a	Brunnenwasser	Galvanikschlamm	7,5	t/a	Büb,
davon:	123.100,50	cbm/a	Kühlwasser	Aktivkohle	2,6	a/a	Aus Adsorbern
	9.000, 00	cbm/a	Galvanik				
	6.500,00	cbm/a	Heizung				
Lappen	600.125,00	Stck/a	Mehrweg-Putztücher, Zahl der Wuschungen				
<b>Energie</b>				<b>ABLUFT</b>			
Energie Gesamt	67.509,20	MWh/a		VOC aus ARA	7,23	t/a	Bei Ø 35 mg C / m <sup>3</sup>
Energie Gas	44.050,70	MWh/a		NOx aus Energie- zentrale	7,58	t/a	erdgasgefeuerte Ener- giezentrale
Energie Elektr.	24.010,50	MWh/a	Davon 5.618 MWh/a Klimaanlage 7.179 MWh/a Druckmaschi- nen	CO aus Energie- zentrale	0,18	t/a	erdgasgefeuerte Ener- giezentrale
				VOC diffus	364,88	t/a	
				<b>Abwasser</b>			
				Gesamt	33.200	cbm/a	Davon 2.418 cbm/a Galvanik

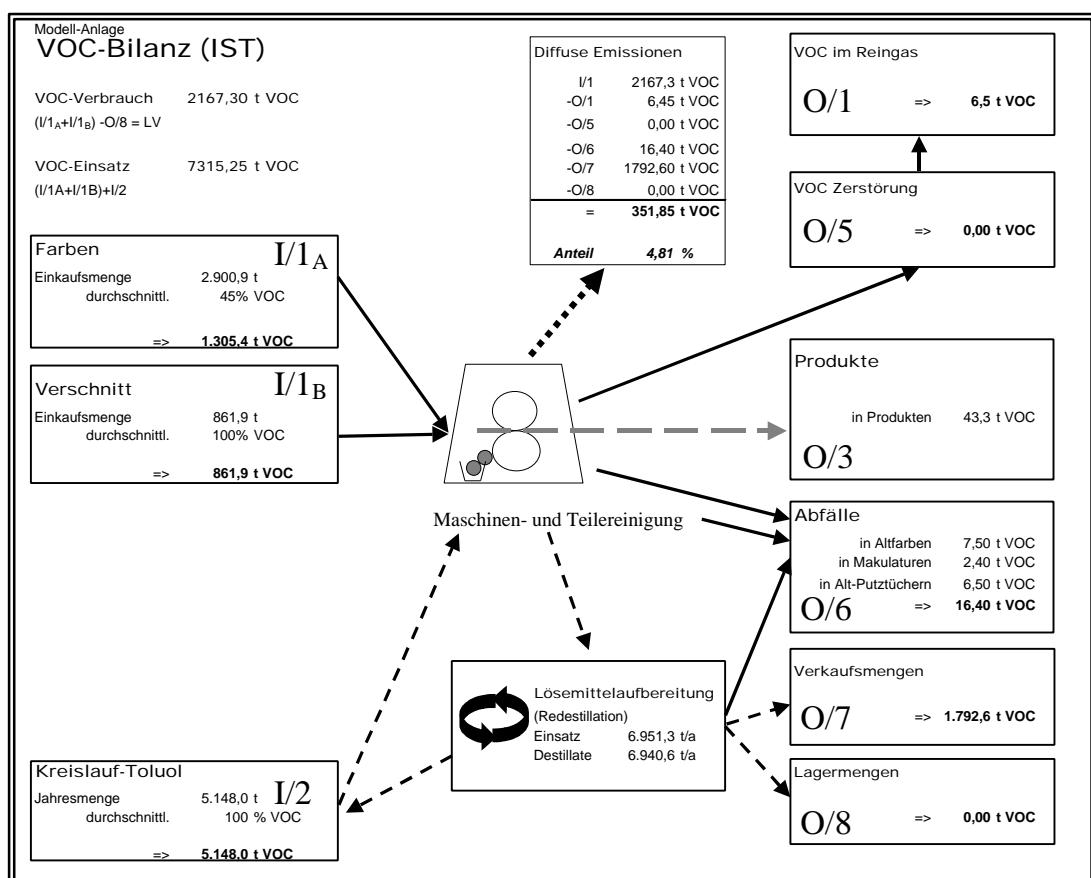
**[Ökopol 2001]**

Bei der vorstehend skizzierten Referenzanlage handelt es sich um eine moderne Illustrations- und Tiefdruckanlage in der auf 5 Tiefdruckmaschinen mit insgesamt 40 Farbwerken Zeitschriften und Kataloge hoher Qualität und Auflage produziert werden.

#### VOC-Bilanz:

Für die vorstehend skizzierte Modell-Anlage ergibt sich unter Verwendung branchentypischer Emissionsfaktoren für die einzelnen Prozesse die nachfolgende VOC-Bilanz.

Abb. 17: VOC-Bilanz der Illustrations- und Tiefdruck Modellanlage



Die Anforderungen der EG-Lösemittel-Richtlinie (Gesamt-C im gefassten Abgas = 75 mg C/m<sup>3</sup>; Anteil der diffusen Emissionen = 10 % vom VOC-Einsatz) werden deutlich unterschritten.

Für die positive VOC-Emissionssituation sind die folgenden Faktoren relevant:

- Die Druckmaschinen sind vollständig eingehaust (gekapselt). Innerhalb dieser Kapseln wird ein leichter Unterdruck gegenüber den Umgebungsbedingungen gehalten
- In der Anlage werden fast ausschließlich Toluol reduzierende Farben verdrückt, die zu einem stärkeren Ausdampfen des Toluols in der Trocknerstrecke und damit zu einer geringeren Restbeladung der Produkte führen.
- Toluolbeladene Putzlappen und Farbreste werden an Plätzen innerhalb der Maschinenkapselung gesammelt, die gesondert abgesaugt werden.
- Die periodische Grundreinigung der Druckmaschinen erfolgt mit Hilfe von Trockeneis
- Der Beladungszustand (Rohgas-/Reingas Abgleich) der Adsorber wird kontinuierlich messtechnisch erfasst um „Durchbrüche“ zu vermeiden.
- Die „Trocknungs-Abluft“ der Adsorber wird erfasst und der Abluftreinigung zugeführt.

## 4.8 BVT-Kandidaten

### 4.8.1 Zusammenfassende Darstellung

In der folgenden Tabelle sind, geordnet nach den Prozessstufen, geeignete BVT-Kandidaten für Illustrationstiefdruck-Anlagen aufgeführt.

Das eine IVU-Illustrationstiefdruckanlage in einer gegenüber der Umgebung gekapselte Halle betrieben wird, die mit einer leistungsfähigen Abgasreinigungsanlage ausgestattet ist, wird dabei vorausgesetzt.

Tab. 44: BVT-Kandidaten für Illustrationstiefdruck-Anlagen

Nr.	Maßnahme	Prozessstufe	Minderungseffekt
IT-1	Einsatz Resttoluolreduzierender Druckfarben	Farbaufbereitung & Druck	Minderung der diffusen VOC-Emissionen
IT-2	Absaugung der Sammelplätze von Farbresten und Putztüchern	Druck & Zwischenreinigung	Minderung der diffusen VOC-Emissionen
IT-3	Grundreinigung mit Trockeneis anstatt mit Lösemitteln	Grundreinigung	Minderung der diffusen VOC-Emissionen
IT-4	Kontinuierliche Mess- u. Regelungstechnische Überwachung der Adsorberbeladung	Abgasreinigung	Minderung der gefassten VOC-Emissionen
IT-5	Zuführung der Adsorber-Trocknungsluft zur ARA	Abgasreinigung	Minderung der gefassten VOC-Emissionen
IT-6	Installation der Umlufttechnik	Farbtrocknung & Abgasreinigung	Minderung der VOC-Emissionen Reduzierung des Energieverbrauches

### 4.8.2 Kurzbeschreibung der BVT-Kandidaten

#### IT-1: Resttoluolreduzierende Farben“

Bei den „resttoluolreduzierende Farben“, wird die Filmbildung auf der Farboberfläche durch veränderte Rezepturen verzögert. So kann ein deutlich höherer Anteil des in der Druckfarbe enthaltenen Toluols direkt in der Farbtrocknung der Druckanlage ausgetrieben werden. Diese Emissionen werden von den installierten Abgasreinigungsanlagen mit hoher Effizienz erfasst und abgeschieden. Die Restbeladungen der Produkte in der Auslage der Maschinen können so um 30-50% reduziert werden. Die diffusen Emissionen werden zu ca. 70% durch die Austräge über die Produkte geprägt. Die diffusen Emissionen wiederum betragen bei einer Anlage, die

bislang keine derartigen Farben einsetzt, ca. 65- 70% der Gesamtemissionen. Es können somit ca. 20% der Anlagenemissionen vermieden werden.

Durch den leicht erhöhten Toluoleintrag in die Adsorber-Anlagen steigt der Energiebedarf zur Desorption geringfügig an. Andererseits wird das desorbierte Toluol auf hohem Einsatzniveau wieder verwendet, so dass hier eine Entlastung der entsprechenden Herstellungsprozesse erfolgt.

In Deutschland handelt es sich derzeit bereits bei mehr als 70% der eingesetzten Illustrationstiefdruckfarben um „Resttoluolreduzierende Farben“<sup>32</sup>. Technische Restriktionen bestehen nur noch bei ca. 10% „Sonderfarben“ für Spezialanwendungen.

Die Maßnahme ist als kostenneutral<sup>33</sup> anzusehen, da aufgrund des gestiegenen Produktionsanteils praktisch kein Preisunterschied mehr zu konventionellen Farben besteht.

#### IT-2 Absaugung der Sammelplätze von Farbresten und Putztüchern

Sowohl Farbreste als auch Putztücher aus der Zwischenreinigung von Maschinenteilen weisen z.T. sehr hohe Toluolbeladungen auf. Um zu vermeiden, dass diese VOC-Mengen während der weiteren betrieblichen Handhabung der Abfälle diffus emittieren, ist es sinnvoll die Verdunstungsverluste gezielt zu erfassen und der Abgasreinigung zuzuführen.

Zu diesem Zweck werden die Abfälle in offenen Gebinden bzw. Gitterboxen an speziellen Sammelplätzen zwischengelagert, die gesondert abgesaugt werden. Um die Einhaltung der MAK-Werte zu gewährleisten, ist auf eine ausreichende Trennung zwischen diesen Sammelplätzen und den Arbeitsplätzen der Maschinenbedienung zu achten sowie eine wirksame Gestaltung der Luftabsaugung sicher zu stellen.

Der zusätzliche Aufwand für die Einrichtung solcher Sammelplätze ist gering. Durch die Rückgewinnung der verdunstenden Toluolmengen ergeben sich positive Kostenbeiträge.

---

<sup>32</sup> Diese Angabe basieren auf einer Kurzumfrage bei einigen Betreibern großer Illustrationstiefdruckanlagen. Aufgrund der hohen Mengenbedeutung des Druckfarbenverbrauchs dieser Großanlagen zeigte sich, dass der Marktanteil der toluolreduzierten Farben bei mindestens 70% liegt.

<sup>33</sup> Aufgrund der wenigen Marktteilnehmer und der hohen Farbeinkaufsmengen der einzelnen Betriebe, unterliegt die Preisgestaltung der Illustrationstiefdruckfarben allerdings zu einem hohen Anteil den bilateralen Verhandlungen zwischen Farbhersteller und Druckbetrieb. Diese Daten werden vertraulich gehandhabt.

### IT-3: Grundreinigung mit Trockeneis anstatt mit Lösemitteln

Die Entfernung von Farbverkrustungen und anderen Produktionsrückständen im Rahmen von Wartungs- und Grundreinigungsarbeiten kann in vielen Fällen durch Strahlen mit Trockeneis-Pellets erfolgen. Hierdurch werden VOC-Emissionen vollständig vermieden.

Voraussetzung ist allerdings ein entsprechendes Know-how und sorgfältiges Arbeiten, um Zusatzbelastungen von Mitarbeitern und Maschinen durch Stäube und Lärm zu vermeiden.

Bei entsprechender Erfahrung kann diese Art der Grundreinigung sehr kosteneffizient durchgeführt werden, so dass sich keine relevanten ökonomischen Unterschiede zur konventionellen Reinigung ergeben.

### IT-4: Kontinuierliche Mess- u. Regelungstechnische Überwachung der Adsorberbeladung

Ist die Adsorptionsfähigkeit der Aktivkohle eines Absorbers erschöpft, kann es zu „Durchbrüchen“, d.h. der fast ungeminderten Freisetzung der im Rohgas enthaltenen Toluolmengen kommen. Derartige Durchbrüche lassen sich durch den Einsatz moderner Mess- und Regeltechnik (kontinuierliche Abgleich zwischen Roh- und Reingasbeladung) und entsprechendes Umsteuern der Abluftströme auf einen unbeladenen Adsorber weitestgehend vermeiden.

Die Kosten für derartige mess- und regeltechnische Einrichtungen sind in den vergangenen Jahren deutlich gefallen, so dass heute nur geringe Zusatzinvestitionen zu ihrer Installation notwendig sind

### IT-5: Zuführung der Adsorber-Trocknungsluft zur ARA

Um Toluolemissionen aus dem Trockenfahren der Adsorber unmittelbar nach der Desorption zu vermeiden, kann die Fortluft während dieser Anfahrzustände eines desorbierten Adsorbers über spezielle Luftführungen erneut der Zuluft der Abgasreinigung zugeführt werden.

Voraussetzung ist die Installation einer entsprechenden Regelungstechnik und der notwendigen Luftführungen. Während die Nachrüstung von Altanlagen in diesem Bereich teilweise aufwändig ist, lassen sich diese Komponenten bei der Neuplanung einer Abgasreinigung ohne relevante Zusatzkosten installieren.

### IT-6: Umrüstung auf Umlufttechnik

Bei dieser Technik wird das Reingas nach der Adsorptionsanlage der Abgasreinigung erneut dem Drucksaal (der Maschinenkapsel) zugeführt. Hierdurch wird die Freisetzung des Restto-

luols im Reingas weitgehend unterbunden. Voraussetzung ist die Installation eines zusätzlichen Adsorbers und entsprechender Regelungstechniken, um kontrollierte, geringe Toluolkonzentrationen in der Umluft sicherzustellen, so dass die zulässigen MAK-Werte innerhalb der Maschinenkapsel nicht überschritten werden.

Die Toluol-Emissionen mit dem Reingas sind allerdings vergleichsweise gering (dies zeigt sich exemplarisch auch in der VOC-Bilanz der Modell-Anlage in Abbildung 16), so dass die übrigen Effekte der veränderten Luftführung eine Bewertung dominieren.

Hier ergeben sich komplexe Wechselwirkungen zwischen dem Gesamtenergiebedarf, dem Bedarf an spezifischen Energieformen sowie dem zeitlichen Verlauf der Energiebedarfe bzw. Überschüsse im Jahresgang. Da sich diese nur schwer gegenüberstellen lassen, wurde im Jahr 2000 vom Bundesverband Druck und Medien mit Unterstützung einer Reihe großer Tiefdruckanlagen-Betreiber eine vergleichende Studie zwischen konventioneller Luftführung und Umluftbetrieb in Auftrag gegeben. Mittlerweile liegen die Untersuchungsergebnisse vor.<sup>34</sup>

Es zeigt sich eine annähernde Gleichwertigkeit beider Konzepte, die ökonomisch ausschließlich durch die am jeweiligen Standort vorzufindende Energieversorgungs- und Nutzungssituation dominiert wird. Fragen der Energieträgerpreise sowie der ggf. möglichen Gutschriften für die Einspeisung von Überschussenergien (Strom aus Kraft-Wärmekopplung sowie überschüssige Dampfmengen) am Standort bestimmen deshalb die Amortisationsrechnung. Nachrüstungen an Altanlagen scheiden aufgrund des sehr hohen Umrüstungsbedarfes, u.a. für eine komplett neue Zulufttechnik, unter wirtschaftlichen Aspekten weitgehend aus.

Bei der ökologischen Bewertung ist die Frage relevant, ob die Umlufttechnik einen signifikanten Beitrag zur Senkung der Rest-Toluol Gehalte in den Druckprodukten an der Auslage liefert.<sup>35</sup> Da die Restbeladung der Produkte auch von einer Reihe weiterer Faktoren (u.a.: Papierqualität, Farbdeckung, Temperaturführung in den Trocknern) beeinflusst wird, ist es hier allerdings schwierig eindeutige Kausalzusammenhänge darzustellen.

#### 4.8.3 Bewertung der BVT-Kandidaten

Die folgende Tabelle zeigt eine schematische Kurzbewertung der skizzierten BVT-Kandidaten.

---

<sup>34</sup> Donau Carbon GmbH: „Ökologischer und ökonomischer Vergleich zwischen Umluftbetrieb und konventioneller Luftführung im Illustrations-Tiefdruck“, Frankfurt a. M, Jan. 2001

<sup>35</sup> Die Restbeladung der Druckprodukte ist die bei weitem relevanteste Toluol-Emissionsquelle aus dem Gesamtprozess.

Tab. 45: Bewertung der BVT-Kandidaten für Illustrationstiefdruck-Anlagen

Nr.	Maßnahme	L	W	A	E	R	Zusatzkosten	Hemmnisse
IT-1	Einsatz Resttoluolreduzierender Druckfarben	?	-	-	-	?	Keine bis gering	Restriktionen im Sonderfarbbereich
IT-2	Absaugung der Sammelplätze von Farbresten und Putzlüchern	?	-	-	-	?	Keine bis gering	Teilweise bauliche Restriktionen
IT-3	Grundreinigung mit Trokkeneis anstatt mit Lösemitteln	?	-	-	-	-	keine	Anwendungserfahrungen notwendig
IT-4	Kontinuierliche Mess- u. Regelungstechnische Überwachung der Adsorberbeladung	?	-	-	-	-	gering	
IT-5	Zuführung der Adsorber-Trocknungsluft zur ARA	?	-	-	?	-	Abhängig von ARA-Konzept meist gering	Bei Altanlagen teilw. bauliche Restriktionen
IT-6	Installation der Umlufttechnik	??	-	-	??	-	Abhängig von Anlagen- und Standortbedingungen	Umrüstung bei Altanlagen sehr aufwändig

Legende: L = Luftschadstoffe und Schadstoffmenge, W = Wasserverbrauch und Abwasserbelastung, A = Abfallmenge und Abfallkontamination, E = Energieverbrauch, R = Ressourceneinsatz

Die fett markierten Effekte der BVT-Kandidaten dominieren die Bewertung. So ergeben sich auch bei teilweise gegenläufigen Trends überwiegend eindeutige Gesamtbewertungen. Einzig im Bereich der Umlufttechnik beeinflussen die Standortbedingungen (Bedarf bzw. Überschuss an Energie im Jahresverlauf) die Gesamtbewertung so stark, dass hier keine eindeutige Aussage getroffen werden kann.

## 5. Literaturverzeichnis

Baufeldt, Uwe; Dorra, Manfred; Rösner, Hans; Scheuermann, Jürgen; Walk, Hans 1995: Informationen übertragen und drucken, 12. Auflage, Verlag Beruf & Schule, Itzehoe

BREF-Dokument zur „Behandlung metallischer Oberflächen“, in Bearbeitung

BVT-Hintergrundpapiere zu den Bereichen Lackieren und Kleben, in Bearbeitung

Donau Carbon GmbH: „Ökologischer und ökonomischer Vergleich zwischen Umluftbetrieb und konventioneller Luftführung im Illustrations-Tiefdruck“, Frankfurt a. M, Jan. 2001

EG-Lösemittelrichtlinie

Fricke et.al. 2000: Hintergrundpapier zu Anhang 56 der AbwasserVO, Abwasser aus der Herstellung von Druckformen, Druckerzeugnissen und grafischen Erzeugnissen, Hinweise und Erläuterungen

IVU-Richtlinie

Ökopol 1997-1999: Branchenuntersuchung „Ermittlung des Standes der Technik und der Emissionsminderungspotentiale zur Senkung der VOC-Emissionen aus Druckereien“, UFOPLAN-Vorhaben Nr. 297 44 906/01 im Auftrag des Umweltbundesamtes.

Ökopol 2001, interne Daten, unveröffentlicht

Ökopol-Branchendatenbank, 2002 (unveröffentlicht)

Ökopol 2002, interne Daten, unveröffentlicht

Ökopol & B.A.U.M., 1997: Branchengutachten, Untersuchung von Druckereien im Rahmen des Beratungsprogramms zur Reststoffvermeidung und Verwertung in BaWü, Handbuch 1, Abfall, Lfu. Karlsruhe

Rafflenbeul, Rolf, 1998: Abluftreinigungsverfahren, ein Leitfaden mit Hinweisen für die Auswahl und Nützlichkeit der unterschiedlichen Abluftreinigungsverfahren, 71 Seiten, 3. Auflage, Frankfurt am Main.

Verein Deutscher Ingenieure (VDI) 1997: VDI-Richtlinie Nr. 2587, Blatt 1 und 2, Emissionsmin-  
derung Tief- und Flexodruckanlagen für Verpackungen, VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung Luft,  
Band 3, Düsseldorf