

Diplomarbeit

**Maßnahmen zur Vermeidung gefährlicher Abfälle  
in einem Aluminium-Druckgußbetrieb**

von

Renner Josef

Institut für Verfahrenstechnik an der Technischen Universität Graz

Abteilung für Grundlagen der Verfahrenstechnik

und

STENUM GmbH

Betreuer: Ass.-Prof. Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr.techn. Hans Schnitzer

Zuständige Betreuerin: Dipl.-Ing. Brigitte Sebesta

Leoben im Februar 1998

1	Aufgabenblatt .....	1
2	Kurzfassung.....	2
3	Aluminiumdruckgießen .....	3
3.1	Verfahrenstechnische Grundlagen .....	3
3.2	Formfüllung & Gießdruckaufbau.....	4
4	Druckgußmaschinen .....	5
4.1	Formschließeinheit .....	5
4.2	Gießeinheit .....	6
4.2.1	Warmkammermaschinen .....	6
4.2.2	Kaltkammermaschinen .....	6
4.2.3	Sonder- Druckgießmaschinen.....	7
4.3	Auswerfeinheit.....	7
4.4	Kernzieheinrichtung .....	7
4.5	Maschinenantrieb.....	8
4.5.1	Hydraulikanlage (Pumpen & Ventile).....	8
4.5.2	Hydraulikflüssigkeiten.....	8
4.6	Maschinensteuerung .....	10
4.7	Gußstückentnahme .....	10
4.8	Formsprüheinrichtung, Trennstoffe und Gießkolbensmierung.....	11
4.8.1	Anforderungen an Trennstoffe: .....	12
4.8.2	Einteilung der Trennstoffe.....	12
4.8.2.1	konventionelle, pastöse Trennstoffe .....	12
4.8.2.2	konventionelle, sprühbare Trennstoffe.....	12
4.8.2.3	Wassermischbare Trennstoffe.....	13
4.8.3	Anforderungen an wassermischbare Trennstoffe:.....	13
4.8.4	Aufbringung der Formtrennstoffe.....	14
4.9	Sicherheitsmaßnahmen.....	15
5	Druckgießformen.....	17
5.1	Anforderungen an die Druckgußform.....	17
5.2	Formheizung und -kühlung .....	18

5.2.1	Formanwärmung.....	18
5.2.2	Formtemperierung .....	18
5.2.3	Formkühlung .....	19
5.3	Forminstandhaltung .....	19
6	Schmelz- und Warmhaltebetrieb.....	21
6.1	Anforderungen an Schmelz- und Warmhalteöfen:.....	22
7	Das Druckgußergebnis.....	23
7.1	Güte .....	23
7.2	Bearbeitung der Gußstücke.....	26
8	Emissionsminderungsstrategien.....	28
8.1	Produktkreisläufe.....	31
8.1.1	Kreisläufe in Produktionsprozessen.....	31
8.1.2	Verwertung von Reststoffen .....	33
8.2	Grenzwerte.....	33
8.2.1	Der Grenzwert im rechtlichen Sinne.....	34
8.2.2	Der Grenzwert im medizinischen Sinne .....	34
8.2.3	Grenzwerte und Ökonomie .....	35
8.2.4	Grenzwerte für Schadstoffe.....	36
8.3	Ökologiebezogene Planungsinstrumente.....	37
8.3.1	Umweltmanagement und Öko-Audit .....	38
8.3.2	Nutzen des Umweltmanagements für das Unternehmen:.....	39
9	Abluftreinigung.....	41
9.1	Rauchabsaugung in Druckgießereien.....	41
9.2	Dachentlüftung .....	42
9.3	Raucherfassung durch Hauben .....	42
9.4	Luftschleier-Absaugung .....	43
9.5	Vergleich: Luftschleier und Haube .....	43
9.6	Dezentrale oder zentrale Filteranlage.....	44
9.7	Die Filteranlage.....	45
9.7.1	Elektrofilter .....	45
9.7.2	Naßarbeitende Abscheider .....	46

9.7.2.1 Venturiabscheider VDN (Firma Keller-Lufttechnik) .....	46
9.7.2.2 Venturiabscheider VDN-TAS ( Firma Keller-Lufttechnik).....	47
9.7.2.3 Sprühmittelabsaugung mit Emulsions-Nebel-Abscheider (ENA).....	48
9.8 Abluft- oder Umluftbetrieb.....	49
9.9 Beispiel Entstaubungsanlage .....	50
10 Abwasserreinigung.....	51
10.1 Abwasserzusammensetzung .....	51
10.2 Wiederverwendbarkeit des trennstoffangereicherten Abwassers.....	52
10.3 Verfahren der Abwasserreinigung .....	53
10.4 Emulsionsspaltung .....	53
10.5 Abfall-emulsionsaufbereitungsschritte.....	54
10.5.1 Ultrafiltration.....	56
10.5.2 Chem.- phys. Spaltanlagen & Flotation .....	58
10.6 Beispiel; Aufbereitung durch 2-stufige Spalt- und Flotationsanlage im Durchlaufverfahren.....	59
10.6.1 Emulsionsspeicher .....	59
10.6.2 Ölabscheider .....	59
10.6.3 Pumpspeicherbecken.....	59
10.6.4 Emulsionsspalt- und Flotationsanlage.....	59
10.6.5 Schlammbehandlung .....	61
10.6.6 Vergleich von Aufbereitungskosten.....	63
10.6.7 Ablaufschema Flotationsanlage mit Ölabscheider:.....	64
10.7 Verdampfung und Destillation.....	65
10.8 Mögliche Probleme bei der Rückführung von Wasser oder Emulsion .....	65
10.8.1 Gelöste Stoffe.....	66
10.8.2 Bakterien.....	66
11 Neuentwicklungen .....	69
11.1 Trockene Kolbenschmierstoffe.....	69
11.1.1 Vorteile von Shotbeads.....	71
11.2 Trockene Bearbeitung.....	72

11.2.1	Kühlschmierstoffeinsatz .....	72
11.2.2	Minimalmengen-Kühlschmierung (MMKS) .....	75
11.3	Integriertes Tribologiekonzept .....	77
11.3.1	Stand der Technik beim Trennstoffauftragen auf Druckgießformen .....	77
11.3.2	Benetzungstemperatur .....	78
11.3.3	Entwicklung neuer Formtrennstoffe .....	79
11.3.3.1	Verbesserte Benetzungsfähigkeit .....	79
11.3.3.2	Trenn- und Schmiereigenschaften .....	79
11.3.4	Synergieeffekte .....	80
12	Beispiel eines Aluminium-Druckguß-Betriebes .....	81
12.1	Firma Austria-Druckguß .....	81
12.1.1	Produktion.....	81
12.1.2	Verfahrensablauf.....	81
12.1.3	Stoffstromdiagramm .....	82
12.1.4	Verfahrensbeschreibung zu Stoffstromdiagramm.....	83
12.1.5	Eingesetzte Betriebsstoffe .....	84
12.1.6	Gefährliche Abfälle .....	86
13	Optionen für die Reduktion der Abfallermulsion .....	87
13.1	Abfallermulsionsvermeidung.....	87
13.2	Abfallermulsionsaufbereitung .....	89
14	Zusammenfassung.....	91

## **1 Aufgabenblatt**

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich mit den beträchtlich hohen gefährlichen Abfallmengen im Bereich des Aluminiumdruckgusses und behandelt Maßnahmen zur Reduktion dieser Abfälle. Entsprechend dem Ansatz von Cleaner Production werden dabei Reduktionsmöglichkeiten entlang der Schiene „Entstehungsort“ des Abfalls bis zu einer möglichen Aufarbeitung des Abfalls untersucht. Ausgehend von der mechanischen Fertigung (Kühlschmierstoffe,...) und des Druckgusses selbst (Formtrennmittel, Hydrauliköl,...) werden die Vermeidungs- und Verringerungsoptionen erarbeitet.

Folgende Punkte galt es zu erarbeiten:

### Kühlschmierstoff:

- trockene Bearbeitung von Aluminiumdruckguß,
- Standzeitverlängerung, Qualitätskontrolle

### Formtrennmittel:

- Vermeiden von Spritzverlusten
- Kreislaufführung, erzielbare Standzeit
- Absaugung des Formtrennmittels
- Optimale Werkzeugformen

### Hydrauliköl:

- Standzeitverlängerung
- biologische Abbaubarkeit
- kostengünstige Entsorgung

## **2 Kurzfassung**

Die in einem Aluminiumdruckgußtrieb anfallenden Abfallmengen direkt an den Druckgießeinrichtungen sowie bei der Nachbearbeitung der Gußstücke können durch Einsatz von weiterentwickelten Betriebsmitteln, wie Formtrennmittel, Hydraulikflüssigkeiten oder Kühlschmiermittel, und durch organisatorische Maßnahmen für deren richtigen Einsatz und anschließender Weiterverwendung in Grenzen gehalten werden. Regelmäßiges Warten und Instandhalten sowie Reinigen der Maschinen und der Produktionshallen sind Voraussetzung für einen reibungslosen Produktionsprozeß ohne längere Stillstandszeiten. Eine getrennte Sammlung von Leckagen zur möglichst sortenreinen Erfassung der überschüssigen Flüssigkeiten (Formtrennmittel, Hydrauliköl, Wasser) ist Grundvoraussetzung für eine spätere effiziente Abfallemlusionsaufbereitung und für Sauberkeit und Sicherheit beim Druckgießen. Trockenschmiermittel verunreinigen das Wasser nicht mit Schmieröl, erhöhen die Schußgeschwindigkeit und steigern neben der Produktivität auch die Qualität der Gußstücke.

Bei der Gußstückbearbeitung durch Drehen, Bohren, Fräsen und bei Gewinden kann, je nach Bearbeitungsverfahren, Zerspanungsaufgabe oder benötigter Bauteilqualität, unter Umständen ganz oder teilweise auf Kühlschmierstoffe verzichtet werden. Verwendete Betriebsflüssigkeiten sollten nach Möglichkeit nach einer Abfallemlusionsaufbereitung innerbetrieblich in Kreisläufen wiederverwendet werden. Durch den Einsatz von konsequentem Umweltmanagement wird dadurch neben einer Umsetzung dieser umweltbezogenen Ziele auch eine betriebswirtschaftliche Steigerung ermöglicht.

### **3 Aluminiumdruckgießen**

Unter Druckgießen versteht man ein Gießverfahren, bei dem flüssiges Metall unter hohem Druck in geteilte metallische Dauerformen gepreßt wird. Der Formfüllvorgang unterliegt im wesentlichen nicht mehr der Schwerkraft, sondern beruht auf einer Umsetzung der auf das flüssige Gießmetall wirkenden Druckenergie in kinetische Energie. Dadurch entstehen in der Druckgießform während des Gußvorganges hohe Strömungsgeschwindigkeiten, bis bei abgeschlossener Formfüllung die kinetische Energie der bewegten Massen in Druck- und Wärmeenergie umgewandelt wird.

Beim Druckguß, der sich aus dem Kokillenguß entwickelt hat, wird das flüssige Metall in einen Formhohlraum gepreßt. Das flüssige Metall strömt durch die Druckwirkung auch in engste Querschnitte ein. Das ist maßgebend für die konturengenaue Formwiedergabe, einem der besonderen Vorzüge des Druckgießens. Vor allem wird die Herstellung von dünnwandigen und maßgenauen Gußstücken von hoher Oberflächenqualität möglich.

#### **3.1 Verfahrenstechnische Grundlagen**

Charakteristisch für den Druckguß ist die Erzeugung eines relativ hohen Gieß- oder Fülldruckes, damit das flüssige Metall in den Formhohlraum einströmt.

Druckgießmaschinen haben die Aufgabe die Druckform zu öffnen, zu schließen und geschlossen zu halten, sowie das flüssige Metall in die Form zu pressen und bis zur Erstarrung mit ausreichend hohem Druck zu beaufschlagen.

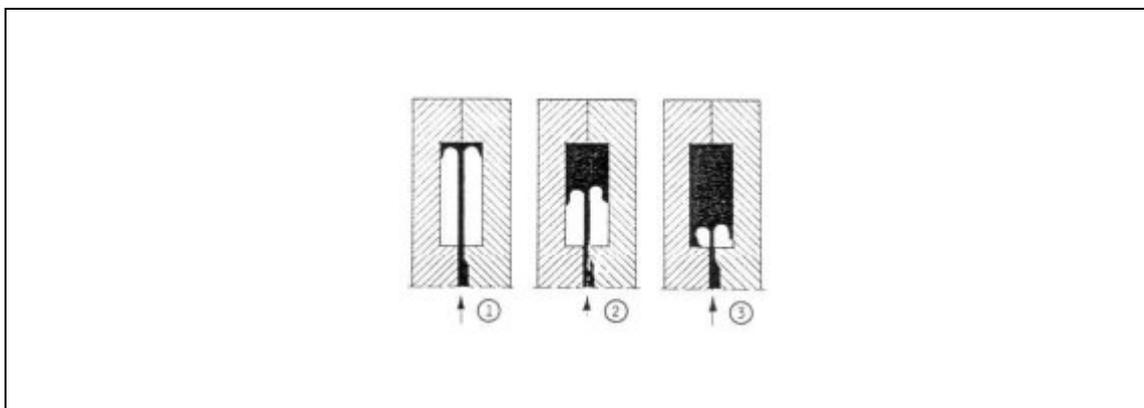
Beim Druckgießen handelt es sich um ein Serienfertigungsverfahren, welches sich für die Produktion von mittleren bis großen Serien eignet.

### 3.2 Formfüllung & Gießdruckaufbau

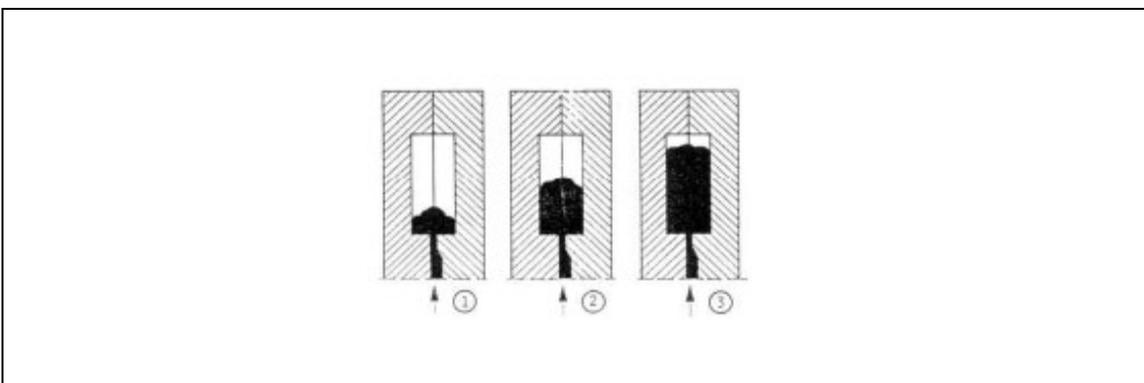
Entscheidend für die Art der Formfüllung ist die kinetische Energie, der in den Formhohlraum einströmenden Schmelze.

Nach J. Kopf [1] gilt:

Wenn die kinetische Energie der Schmelze im Anschnitt größer als der Strömungswiderstand des Formhohlraumes ist, wird die Form nach der Frommschen Theorie gefüllt (Rücklauffüllung Abb.1)



Wenn die kinetische Energie der Schmelze im Anschnitt niedriger ist als der Strömungswiderstand des Formhohlraumes, wird die Form nach der Theorie von Brandt gefüllt (Vorwärtsfüllung Abb.2)



## **4 Druckgußmaschinen**

Druckgußmaschinen haben die Aufgabe die zum Gießen notwendigen Kräfte und Drücke zu erzeugen sowie die Druckgießform zu öffnen und zu schließen. Die zwei Hauptbestandteile sind die Formschließ- und die Gießeinheit. Weitere Baugruppen sind die Auswerfeinheit, die Kernzugeinrichtung und der Maschinenantrieb einschließlich Steuerung.

Nach dem Arbeitsablauf unterscheidet man zwischen:

- automatische Druckgußmaschinen: Vom Aufbringen des Trennmittels, Öffnen und Schließen der Druckgußform, Eingießen des Metalls in die Druckkammer, Ziehen des Kerns bis zum Ausstoß der Gußstücke erfolgen alle Vorgänge selbstständig.
- Teilautomatische Druckgußmaschinen
- nichtautomatische Druckgußmaschinen

### **4.1 Formschließeinheit**

Die Formschließeinheit öffnet und schließt die Druckgießform. Der Antrieb erfolgt bei allen Druckgießmaschinen durch einen hydraulischen Schließzylinder, der auch gleichzeitig die gesamte Zuhaltkraft erzeugen kann.

Wird die Zuhaltkraft während des Gießens überschritten, wird die Form automatisch aufgedrückt (Kraftschlüssige Zuhaltung).

## **4.2 Gießeinheit**

Die Gießeinheit fördert das flüssige Metall in die Druckgießform und sorgt gleichzeitig für den nötigen Druck auf das erstarrende Metall. Die Gießeinheit besteht aus der Gießgarnitur und dem Gießantrieb. Die Gießgarnitur führt das flüssige Metall in den Formhohlraum der Druckgießform. Der Gießantrieb bewegt den Gießkolben und erzeugt den Druck auf das flüssige Metall.

Nach der Art der Gießgarnituranordnung unterscheidet man zwischen Warmkammer und Kaltkammermaschinen.

### **4.2.1 Warmkammermaschinen**

Der Gießbehälter mit eingebauter Gießkammer befindet sich im flüssigen Metall des Gießofens, der im Normalfall mit schon flüssigem Metall beschickt wird. Warmkammermaschinen werden den Kaltkammermaschinen vorgezogen wenn es sich um Legierungen handelt.

In erster Linie kommen sie bei kleineren und mittelgroßen Gußstücken zum Einsatz, und sie arbeiten mit Zuhaltekräften bis 4000 kN.

### **4.2.2 Kaltkammermaschinen**

Im Unterschied zur Warmkammermaschine befinden sich alle Gießgarniturteile außerhalb des flüssigen Metalls. Für jeden Gießvorgang wird das Metall aus dem neben der Maschine stehenden Gießofen entnommen und in die Gießkammer gefüllt. Kaltkammermaschinen werden mit Zuhaltedrücken von bis zu 30 MN betrieben.

Kaltkammermaschinen werden nach der Lage der Druckkammer unterschieden:

- Kaltkammerdruckgußmaschinen mit horizontaler Gießkammer
- Kaltkammerdruckgußmaschinen mit vertikaler Gießkammer

#### **4.2.3 Sonder- Druckgießmaschinen**

Nach DIN 24480 sind Sonderdruckmaschinen jene Bauformen, welche nicht den Warm- oder Kaltkammermaschinen zugeordnet werden können. Meist stellen sie eine Kombination aus Druckgieß- und Kokillengießmaschinen dar.

#### **4.3 Auswerfeinheit**

Nach DIN 24480 handelt es sich dabei um eine Einrichtung zum Antrieb und zur Steuerung der Auswerfeinrichtung, welche sich an der Druckgießform befindet.

Die Auswerfeinheit ist in die bewegliche Aufspannplatte eingebaut und besteht im einfachsten Fall aus einem in Formschließrichtung wirkenden hydraulischen Auswerfzylinder.

#### **4.4 Kernzieheinrichtung**

Jede Druckgußmaschine besitzt eine Kernzieheinrichtung zur Betätigung von Kernziehzyklindern an der Druckgießform. Die Kernziehzyklinder werden hydraulisch betrieben und sie dienen zum Einfahren und zum Lösen von beweglichen Kernen. Die Kernzieheinrichtung ist ein Bestandteil der Maschinenhydraulik. Die Schaltung der angeschlossenen Kernziehzyklinder erfolgt durch Kernziehventile, die entweder elektrisch betätigt oder digital gesteuert werden können.

#### **4.5 Maschinenantrieb**

Der Antrieb von Druckgußmaschinen erfolgt immer hydraulisch.

##### **4.5.1 Hydraulikanlage (Pumpen & Ventile)**

Das Hydrauliksystem stellt das Kraftübertragungsmittel für den Maschinenantrieb dar. Die Hydraulikanlage besitzt die Aufgabe, für die Antriebe Hydraulikflüssigkeiten mit erforderlichen Drücken und den erforderlichen Mengen bereitzustellen.

Die Antriebshydraulik wird in der Regel für Pumpendrucke von 40 bis 160 bar ausgelegt. Diese reichen für die Schließ-, Auswerf- und Kernziehzyylinder und für den Betrieb der Druckspeicher aus.

Für diese Aufgaben verwendet man Hydraulikpumpen, die von Elektromotoren angetrieben werden, die die Hydraulikflüssigkeit aus dem Sammelbehälter in die Druckleitungen fördern und mit den geforderten Drücken versehen.

##### **4.5.2 Hydraulikflüssigkeiten**

Lange Zeit wurde für das Hydrauliksystem in Druckgießmaschinen als Druckflüssigkeit Mineralöle mit Zusätzen zur Verbesserung der Alterungsbeständigkeit und des Korrosionsschutzes verwendet.

Eingeteilt werden die Mineralöl-Druckflüssigkeiten in:

H: Mineralöle ohne Wirkstoffe

HL: Mineralöle mit Zusätzen zur Verbesserung der Alterungsbeständigkeit und des Korrosionsschutzes

HPL: Mineralöle mit zusätzlichen Wirkstoffen zur Verbesserung des Verhaltens im Mischreibungsgebiet

Nachteilig bei Hydraulikflüssigkeiten auf Mineralölbasis wirkt sich deren Entflammbarkeit und Brennbarkeit aus. Deshalb wurden mehr und mehr statt Mineralölen schwerentflammbare Hydraulikflüssigkeiten verwendet. Nach deren Zusammensetzung werden folgende Gruppen unterschieden:

HSA: Öl in Wasser Emulsion mit maximal 20% Ölanteil

HSB: Wasser in Öl Emulsion mit maximal 60% Ölanteil

HSC: Wässrige Lösungen mit 35 bis 45% Wasseranteil; zB.: Wasser-Glykol-Flüssigkeiten

HSD: Wasserfreie Flüssigkeiten

In der Gießerei werden für Hydraulikantriebe hauptsächlich HSC-Flüssigkeiten verwendet, zum Teil auch HSD-Flüssigkeiten, aber nur wenn sie frei von perchloriertem Biphenyl sind.

Da HSC-Flüssigkeiten Wasser enthalten, das bei bei Erwärmung verdunsten oder verdampfen könnte sind Betriebstemperaturen von höchstens 50°C zulässig. Daraus ist ersichtlich, daß auf eine ausreichend bemessene Kühlung geachtet werden muß. Verdampftes Wasser ist dabei rechtzeitig zu ersetzen. Ist der Wasserverlust zu groß, kann sich aus dem Glykol eine gelartige Masse bilden, die das Funktionieren von Steuerungsinstrumenten gefährdet und zur Verschmutzung des Hydrauliksystems beiträgt. Durch das Verdampfen können sich Blasen bilden, die in Folge zu Kavitationsschäden an Pumpen und anderen Hydraulikelementen führen können.

Welcher Art die Hydraulikflüssigkeit auch ist, es ist immer darauf zu achten, daß sie rein ist und keine Fremdpartikel enthält. Um Ausfälle der Hydraulikanlage zu vermeiden wird die umlaufende Hydraulikflüssigkeit ständig gefiltert.

#### **4.6 Maschinensteuerung**

Die Elemente der Druckgießmaschine können entweder einzeln oder in bestimmter Programmfolge gesteuert werden. Die Einzelsteuerung erfolgt durch das Betätigen von Drucktastern oder Druckschaltern. Bei jeder Druckgießmaschine ist die manuelle Steuerung vorgesehen, die das Einrichten der Druckgießform beim Aufspannen und Umrüsten ebenso wie die laufende Druckgußfertigung durch einen Bedienungsmann ermöglichen soll. In der Regel sind moderne Druckgießmaschinen jedoch auch für den vollautomatisierten Betrieb vorgesehen, so daß einzelne oder auch sämtliche Einzeloperationen des Fertigungszyklus selbsttätig ablaufen können.

Die Steuerung selbst erfolgt durch elektrische, elektronische und hydraulische Steuerungselemente.

#### **4.7 Gußstückentnahme**

Ein weiterer Schritt zur Automatisierung des Druckgießbetriebes stellt die Mechanisierung der Gußstückentnahme aus der Form dar. Man unterscheidet dabei prinzipiell zwischen:

- Abwerfen des Abgusses auf eine Rutsche oder Austragtisch
- Abwerfen in ein Wasserbad, kombiniert mit Bandförderer
- Ein mit einer Greifzange ausgestattetes mechanisches Entnahmegerät

Das Abwerfen mit einer Rutsche wird nur bei relativ kleinen und leichten Gußstücken aus geringer Höhe verwendet

Das Abwerfen auf einen Austragtisch läßt sich auch bei größeren, aber nicht allzu schweren Gußstücken anwenden. Das Verfahren setzt voraus, daß das Gußstück vollständig aus der Form ausgestoßen werden kann.

Das Abwerfen in ein Wasserbad wird hauptsächlich bei kleineren Gußteilen gebräuchlich. Das Wasser dämpft den Aufprall und befindet sich unterhalb des Formbereiches der Druckgießmaschine.

Entnahmegeräte zur Druckgußautomation sind heute weit verbreitet und sind besonders zur Entnahme größerer Gußstücke von Vorteil. Sie sind mit einer Greifzange ausgestattet, die den sich von der Formwand abhebenden Abguß am Gießrest erfassen, aus dem Formbereich herausfahren und im Anschluß ablegen.

#### **4.8 Formsprüheinrichtung, Trennstoffe und Gießkolbenschmierung**

Trennstoffe werden auf die mit dem Gießmetall in Berührung kommenden Formoberflächen aufgetragen, um ein Kleben des flüssigen Metalls an der Formwand zu verhindern und eine sichere Trennung von Form und Gußstück zu ermöglichen. Daneben sollen sie Gleitflächen von beweglichen Formelementen schmieren. Dabei ist von Bedeutung, daß der Formtrennstoff sich nicht nachteilig auf die Beschaffenheit der Gußstückoberfläche auswirkt. Weiters bewirken die Trennmittel eine Kühlung der Druckgießform.

Ein Trennstoff zeichnet sich dadurch aus, daß seine Reaktionsprodukte beim Öffnen der Druckgießform verdampfen. Die Reaktionsprodukte dürfen jedoch nicht ausgeprägt flüchtig sein, da sonst keinerlei Schmierwirkung mehr gegeben ist.

#### **4.8.1 Anforderungen an Trennstoffe:**

- Hohe Trenn- und Schmierwirkung
- hohe Kühlwirkung
- keine Rückstände auf der Druckgußform
- keine Korrosion auf der Formoberfläche
- zusätzliche Schmierung der Auswerfereinrichtung
- geringe Gasentwicklung
- Umweltverträglichkeit
- Trennstoffe dürfen keine gesundheitsschädliche Stoffe enthalten oder bilden

#### **4.8.2 Einteilung der Trennstoffe**

##### **4.8.2.1 konventionelle, pastöse Trennstoffe**

Beim Auftragen (meist mit einem Pinsel) entsteht ein festhaftender, relativ dicker Film mit sehr guter Isolier- und Gleitwirkung, der eine leichte Entformung ermöglicht. Diese Trennmittel werden deshalb für besonders schwierige Gußteile verwendet. Da diese Trennstoffe pigmentiert sind kann deren Anwendung zur Verschmutzung des Werkzeuges, der Druckgußmaschine und der Gebäude führen.

##### **4.8.2.2 konventionelle, sprühbare Trennstoffe**

Der Unterschied zu den pastösen Trennstoffen besteht darin, daß die sprühbaren Trennstoffe eine herabgesetzte Konsistenz durch die Verwendung von flüssigen Trägermedien besitzen, wodurch diese mit Sprühgeräten aufgetragen werden können. Als flüssige Trägermedien sind organische Lösungsmittel wie Benzin oder Petroleum in

Verwendung, wodurch Brandgefahr besteht. Diese Trennmittel zeichnen sich besonders durch ihre hervorragende Kriechwirkung aus, welche die Form auch bei tiefsten Konturen noch mit Trennstoff versorgt. Durch ihren ebenfalls relativ hohen Gehalt an Pigmenten besteht wiederum Verschmutzungsgefahr.

#### **4.8.2.3 Wassermischbare Trennstoffe**

Diese Trennmittel stellen heute den Stand der Technik dar und werden mit Sprühgeräten aufgetragen. Ein wesentliches Kriterium für die Verwendung wassermischbarer Trennstoffe ist eine ausreichend hohe Formtemperatur, weil diese durch das Trennmittel beeinflusst wird. Das Trägermedium Wasser hat gegenüber organischen Trägerflüssigkeiten eine ungefähr viermal höhere Verdampfungswärme, wodurch sich bei hoher Verdünnung und intensivem Sprühen die Formtemperatur senken läßt, ohne die Menge an aufgetragenen Trennstoffen zu verändern. Bei niedriger Verdünnung und verkürzter Sprühzeit kann die erforderliche Trennstoffmenge ohne wesentliche Absenkung der Formtemperatur erreicht werden. Daraus folgt, daß für den jeweiligen Fall ein Optimum für Formtemperatur, Trennstoffkonzentration, Sprühzeit und Taktzeit gefunden werden muß.

Beim Aluminiumdruckguß liegt die durchschnittliche Formtemperatur zwischen 190°C und 260°C, wobei durch die Verwendung von wassermischbaren Formtrennstoffen eine Temperaturreduktion von ungefähr 50° möglich ist.

Es ist jedoch zu beachten, daß wassermischbare Trennstoffe eine nicht sehr ausgeprägte Kriechfähigkeit besitzen und dadurch gezielteres Sprühen notwendig wird, wodurch aber der Trennmittelverbrauch optimiert werden kann.

#### **4.8.3 Anforderungen an wassermischbare Trennstoffe:**

- Der Sprühstrahl muß den entstehenden Dampfstrahl durchdringen

- Um ein Abtropfen von überschüssigem Trennstoff zu verhindern, muß auf die richtige Dosierung geachtet werden
- Falls eine größere Dicke des Trennstofffilms benötigt wird, ist der Sprühstrahl oszillierend zu bewegen und mehrere dünne Schichten nacheinander sind aufzutragen
- Der Wärmehaushalt der Form sollte konstant bleiben
- Der Trennstofffilm muß auf der Formoberfläche geschlossen sein, wodurch eine höhere Formstandzeit resultiert
- Unterschiedliche Anforderungen an verschiedene Gußstückbereiche verlangen die Verwendung von unterschiedlichen Mischungsverhältnissen von Trennstoff und Wasser; d.h., man benötigt mehrere Trennstoffsprühkreise
- Trennstoffe mit zu kleiner Kriechfähigkeit müssen durch Anblasen mit Druckluft zu besserer Verteilung gebracht werden.

#### **4.8.4 Aufbringung der Formtrennstoffe**

Nach den unterschiedlichen Möglichkeiten des Aufbringens der Formtrennstoffe unterscheidet man:

- Auftragen mittels Handpinsel

Die Vorteile dieser Aufbringungsart bestehen in der gezielten Aufbringung und der sparsamen Anwendung. Durch eine Verteilung mittels Druckluft kann eine relativ dünne und gleichmäßige Trennstoffdicke erreicht werden. Als Nachteil ergibt sich, daß diese Methode nicht automatisierbar ist und daher stark personalabhängig ist.

- Aufbringen durch Handsprühpistolen

Der Formtrennstoff kann zwar gezielt aufgetragen werden, wodurch der Verbrauch gering gehalten werden kann, eine Automatisierung ist aber nicht möglich.

- Aufbringen mit vollautomatischen Formsprüheinrichtungen

Der Trennstoff kann sehr gleichmäßig aufgebracht werden, wodurch eine gleichmäßige Qualität erreicht werden kann. Auch ist es möglich an mehreren Stellen gleichzeitig zu Sprühen, wodurch sich eine Zeitersparnis ergibt.

Man verwendet häufig ein zweikreisiges Sprühsystem, welches im ersten Arbeitsgang ein sehr stark verdünntes Trennmittel aufbringt und so die heißen Zonen der Form gut kühlt bis die Grenztemperatur erreicht wird, ab der das Formtrennmittel die Form benetzen kann. Der zweite Sprühkreis bringt in der Folge das eigentliche Trennmittel auf die Form auf.

#### **4.9 Sicherheitsmaßnahmen**

Aus Unfallschutzgründen müssen Druckgießmaschinen mit Sicherheitseinrichtungen ausgerüstet sein. Dabei sollen folgende Punkte erfüllt werden.

- Schutz gegen Durchspritzen von flüssigem Metall aus der Form
- Verhindern von möglichem Einklemmen von Hand oder Fingern in die Druckgießform des Bedienungsmannes
- Verhüten von Unfällen, durch Aufplatzen des Gießrestes beim Öffnen der Druckgießform auf Kaltkammermaschinen

Gegen Durchspritzen schützen am besten Abdeckungen und Türen. Druckgießmaschinen werden heute fast ausnahmslos mit beweglichen Abdeckungen oder Schutztüren ausgestattet. Bei kleineren Maschinen wird der Formbereich meist allseitig von einer Haube abgedeckt. Um den Formbereich trotzdem beobachten zu können, werden oft Fenster aus Schutzglas in diese Hauben eingebaut. Bei vollautomatischem Betrieb kleiner

Warmkammermaschinen bleibt die Schutzhaube geschlossen, kann aber jederzeit von Hand geöffnet werden. Dabei wird die Maschine aber sofort außer Betrieb gesetzt. Bei größeren Maschinen wird die Schutzhaube mit jedem Zyklus auf- und zugefahren, außer wenn dies durch vollautomatische Betriebsweise nicht nötig ist und die Gußstückentnahme und das Formsprühen nicht behindert werden.

Verfahrbare Abdeckungen und Türen schützen dadurch, daß der Gefahrenbereich vollständig umschlossen wird und das vor Gießbeginn. Ist die Abdeckung geöffnet darf der Bedienungsmann nicht durch unbeabsichtigtes vorzeitiges Schließen der Form in Gefahr geraten. Man benötigt eine Formschließsicherung, die am einfachsten aus einer Druckentlastungssperre, die mit der Schutzabdeckung steuerungstechnisch verbunden ist, besteht. Der Bedienungsmann wird dadurch geschützt, daß bei geöffneter Tür und somit bei geöffneter Form die Hydraulikflüssigkeit in der Leitung zum Schließzylinder über einen By-Pass drucklos in den Tank zurückströmt.

Für das Aufspannen, Einrichten und Umrüsten der Formen sowie die manuelle Gußstückentnahme oder das Formsprühen von Hand muß die Formschließsicherung absolut zuverlässig sein.

Weitere sicherheitseinrichtungen sind weiters sogenannte Zweihandschaltungen, wie sie für die Handbedienung von Druckgießmaschinen vorgeschrieben sind. Dabei ist es dem Bedienungsmann nicht möglich mit einer Hand in den Gefahrenbereich zwischen den beiden formhälften zu gelangen, da er für die Betätigung von Schaltelementen beide benötigt.

Die größte Unfallgefahr besteht beim Einrichten der Druckgießmaschine, da hier zumeist mehrere Personen an der Maschine arbeiten und von einander unabhängig die Steuerung bedienen könnten. Häufig werden die Maschinen mit Sperrschlössern an den Bedienelementen ausgestattet, damit kein unüberlegtes Ingangsetzen möglich ist. Zum Schutz des Einrichters trägt auch die Umstellung der Maschinenhydraulik auf Niederdruckbetrieb des Schließzylinders und eine Langsamlaufeinrichtung der Formschließ- und Öffnungsbewegung bei.

## **5 Druckgießformen**

Bei einer Druckgießform handelt es sich um eine metallische Dauerform, deren Formhohlraum mit den Konturen des zu gießenden Gußstückes ausgestattet ist.

Der Zulauf des flüssigen Metalles in den Formhohlraum erfolgt durch Kanäle und wird Einguß-Lauf-Anschnitt-System genannt. Jede Druckgießform besteht aus zwei Teilen, um das fertige Gußstück nach der vollständigen Erstarrung aus dem Formhohlraum entnehmen zu können. Die Teile der Form welche mit dem flüssigen Metall in Berührung kommen, werden aus Warmarbeitsstahl oder aus warmfesten und temperaturwechselbeständigen Sonderlegierungen hergestellt. Alle anderen Teile bestehen, je nach gegebener Beanspruchung, zumeist aus unlegiertem Stahl.

Wird in die Form nur ein Gußstück eingearbeitet, so nennt man diese eine Einfachform. Sie besitzt den Vorteil, daß mit ihr die maßgenauesten Abgüsse hergestellt werden können. Weiters ist die Wärmeabführung gut beherrschbar und es besteht die Möglichkeit größere und kompliziertere Teile herzustellen. Bei der Herstellung von kleineren und einfacher aufgebauten Gußstücken werden meist Mehrfachformen verwendet. Dabei können in einer einzigen Form bei einem einzelnen Gießvorgang gleichzeitig mehrere Teile gegossen werden. Die Kombination der Herstellung in Mehrfachformen mit anschließender Entgratung wird wegen seiner Wirtschaftlichkeit vorwiegend bei Massenartikeln eingesetzt, wobei die geringere Maßgenauigkeit in Kauf genommen wird.

### **5.1 Anforderungen an die Druckgußform**

- Hohe Standzeit
- Erreichung einer hohen Maßgenauigkeit der Abgüsse
- Erreichung der gewünschten Oberflächenbeschaffenheit des Gußstückes

- Möglichkeit der Herstellung von kompliziert aufgebauten Teile
- Erreichbarkeit einer guten Entlüftung
- eine optimale Temperaturregelung muß erreichbar sein
- Herstellung und Wartung der Form sollen möglichst einfach sein

## **5.2 Formheizung und -kühlung**

### **5.2.1 Formanwärmung**

Vor Inbetriebnahme der Druckgießmaschine muß die Druckgießform auf die erforderliche Betriebstemperatur gebracht werden, da sonst die Formoberfläche in Folge zu hoher Wärmespannungen, die in der Regel nicht mehr abgebaut werden können, frühzeitig Brandrißbildungen auslösen können. Je kleiner also das Gefälle zwischen Gieß- und Formtemperatur ist, desto kleiner ist die Gefahr der Rißbildung.

Zum Anwärmen werden Heizgeräte verwendet, bei denen aber darauf geachtet werden muß, daß es zu keiner örtlichen Überhitzung des wärmebehandelten Formstahles kommt, was eine Verminderung der Festigkeit bewirken würde.

Am besten geeignet für das Anwärmen sind Formtemperiergeräte, weil sie nicht nur die Formoberfläche, sondern die gesamte Form von innen her beheizen.

### **5.2.2 Formtemperierung**

Formtemperiergeräte dienen zum Anwärmen der Form vor dem Gießen, und zum Abkühlen der Form nach dem Gießen. Sie arbeiten mit einer zirkulierenden Wärmeträgerflüssigkeit, die je nach Bedarf entweder elektrisch aufgeheizt oder mit Hilfe eines Wasserkühlsystems abgekühlt werden.

Als Wärmeträgerflüssigkeiten werden Öle verwendet, die bis etwa 350°C aufgeheizt werden können.

### **5.2.3 Formkühlung**

Die Aufgabe der Formkühlung besteht darin, die der Druckgießform durch das flüssige Metall zugeführte Wärme wieder zu entziehen, damit das Gußstück erstarrt und in weiterer Folge ausgeworfen werden kann. Als Kühlmittel wird zumeist Wasser verwendet, zum Teil aber auch Öl aus Temperiergeräten.

Es kann sogar zulässig sein, völlig auf eine Formkühlung zu verzichten, falls es sich um sehr kleine und dünnwandige Gußstücke handelt, und die durch die höhere Schußzahl zugeführte Wärmemenge nicht höher ist, als Wärme durch Strahlung, Konvektion und Wärmeleitung entzogen wird.

### **5.3 Forminstandhaltung**

Die Druckgußformen unterliegen einer Abnutzung, welche mit der Zeit zunimmt und ein Ausmaß erreichen kann, das die Weiterverwendung unmöglich macht. Dieser Formverschleiß bestimmt die Standzeit einer Druckgußform. Es ist wichtig kleinere Formschäden schon möglichst früh zu erkennen und zu reparieren bevor diese zum Ausfall der Form führen.

Ursachen für den Formverschleiß können durch Reibung beweglicher Formteile, durch Kavitation und Erosion infolge der Gießströmung oder durch Ribbildung bedingt sein.

Beim Aluminiumdruckgießen ist es zweckmäßig, die Betriebstemperatur der Druckgußform so hoch zu wählen, daß der Unterschied zwischen Metall und Form so gering wie möglich wird. Völlig falsch wäre es, den Druckgußprozeß mit einer abgekühlten oder gar kalten Form zu beginnen, da hier schon bei der ersten Berührung zwischen Metall und Form ein Wärmeschock verursacht würde, der den Formwerkstoff so beanspruchen kann, daß diese Form schon nach wenigen Druckgießvorgängen total ausfallen kann.

Der Formverschleiß kann zwar durch Formpflege und -instandhaltung nicht verhindert werden, er läßt sich aber durch sorgfältige und planmäßige Wartung verlängern.

## **6 Schmelz- und Warmhaltebetrieb**

Aufgabe des Schmelzbetriebes ist es, das für den Prozeß nötige flüssige Metall bereitzustellen und Kreislaufmetall einzuschmelzen. Das für den Druckguß vorgeschmolzene Metall wird zu den Druckgußmaschinen transportiert und dort in Warmhalteöfen bereitgestellt.

Es ist wichtig die Warmhalteöfen ausschließlich für das Warmhalten und nicht zum Einschmelzen des Metalls zu verwenden, damit die Temperatur des gießfertigen Metalls stets auf gleicher Temperatur gehalten werden kann. Bei direkter Zugabe von Block- oder Kreislaufmetall in die Warmhalteschmelze würde sich ein starkes Temperaturgefälle ergeben, welches sich sehr nachteilig auf die Gußqualität auswirken würde.

Daher wird in der Regel in verschiedenen Öfen eingeschmolzen und warmgehalten. Für den Vorschmelzbetrieb eignen sich Induktionsöfen, sowie auch gasbeheizte Tiegel- und Wannenöfen. Eingesetzt werden neben Blockmetallen auch Kreislaufmetalle wie Eingußzapfen, Gießreste, Gießläufe, Anschnitte, Überläufe, Gratabfälle, Ausschußstücke und Späne aus der Gußbearbeitung.

Gießreste, Kreislaufmetalle, Gratreste oder andere Metallabfälle sollten immer dem Vorschmelzbetrieb zugeführt oder besser separat umgeschmolzen werden, einer Reinigung unterzogen und dann erst dem Speicherofen zugesetzt werden. Man kann auf ein Umschmelzen nur dann verzichten, wenn es sich um öl-, fett- und schmutzfreie Kreislaufmetalle bekannter Zusammensetzung aus eigener Fertigung handelt. Es sollten aber in keinem Fall lackierte, beschichtete oder galvanisierte Ausschußstücke beim Vorschmelzen eingesetzt werden.

**6.1 Anforderungen an Schmelz- und Warmhalteöfen:**

- Hoher thermischer Wirkungsgrad
- geringer Metallverlust durch Oxidation in der Ofenatmosphäre
- gute Metallqualität
- Automation der Ofenanlage
- geringer Wartungs- und Instandhaltungsbedarf
- sicherer Ofenbetrieb
- Umwelt- und Arbeitsschutzvorschriften müssen eingehalten werden

## **7 Das Druckgußzeugnis**

Ein Druckgußzeugnis erfüllt im Vergleich zu aus dem selben Werkstoff hergestellten Gußstücken aus dem Sand- oder Kokillenguß höhere Güteanforderungen. Die Herstellung von einwandfreien Produkten erfordert eine genaue Kontrolle und Überwachung der Fertigungsbedingungen und Fertigungsabläufe

### **7.1 Güte**

Es sind verschiedenste Faktoren und Fertigungsparameter welche die Qualität des Druckgußzeugnisses beeinflussen können. Eine Übersicht über die häufigsten Fehler und deren Ursache zeigt Bild 3.

Druckgußteile von einwandfreier Qualität besitzen ein gleichmäßiges und feinkörniges Gefüge und keine Oberflächenfehler. Durch das rasche Abkühlen des Gußstückes kann es dazu kommen, daß gelöste Gase eingefroren und am Ausscheiden gehindert werden.

Will man qualitativ hochwertigen Druckguß fertigen, muß man darauf achten, Luft- und Formgaseinschlüsse zu vermeiden. Bei Kaltkammermaschinen bedeutet dies, einen hohen Füllgrad der Gießkammer vor dem Anfahren des Kolbens anzustreben. Weiters ist es wichtig, das Metall turbulenzfrei in der Gießkammer aufzustauen und für eine ausreichende Formentlüftung zu sorgen. Dort wo hohe Ansprüche gestellt werden, ist das Vakuumdruckgießverfahren eine zweckmäßige Lösung. Was die von Trennstoffen stammenden Formgase betrifft, ist in erster Linie darauf zu achten, ob nicht eventuell eine Übersmierung vorliegt, was bedeuten würde, daß zuviel, zu lange und zu oft Trennstoff ausgesprüht wurde.

Bild 3. Gußfehler und deren Fehlerquellen, nach [3]



**Lunker** sind Schwindungshohlräume, die durch Volumenkontraktion des flüssigen Metalls beim Übergang in den festen Zustand entstehen. Normalerweise versucht man das durch Nachfließen des Metall auszugleichen. Wegen des raschen Erstarrungsvorganges beim Druckgießen wird das nur möglich durch ein Nachverdichten des erstarrenden Gußstückes am Ende der Formfüllphase. Die Lunkergefahr steigt mit zunehmender Wanddicke des Gußstückes und mit zunehmender Erstarrungsdauer. Auch dünnwandige Gußteile können Lunkerporen aufweisen, wenn durch zu hohe Gießtemperaturen der Erstarrungsvorgang verzögert wird. Daraus folgt, daß es unbedingt notwendig ist, die Gießtemperatur im zulässigen Bereich so niedrig wie möglich zu halten. Gleichzeitig muß beachtet werden, daß durch Formkühlung die Formtemperatur so gewählt werden soll, daß eine möglichst rasche Erstarrung erzielbar ist. Der Unterschied zwischen Gieß- und Formtemperatur darf dabei aber nicht zu groß werden, da diese die Temperaturwechselbeanspruchung erhöhen.

Die **Oberflächenbeschaffenheit** der Gußstücke ist von mehreren Einflußgrößen abhängig. Es handelt sich dabei vor allem um die richtige Bemessung des Anschnittquerschnittes, die richtige Wahl des Gießkammerdurchmessers und der Gießkolbengeschwindigkeit. Eine bessere Oberflächenqualität erreicht man in der Regel durch eine Formfüllzeitverkürzung oder durch Druckerhöhung im Anschnitt.

Werden hohe Qualitätsanforderungen gestellt sind neben mechanischen Abnahmeprüfungen und chemischen Analysen auch Röntgenprüfungen durchzuführen.

Ein weiteres Qualitätskriterium der Gußstücke stellt die **Oberflächenrauheit** dar, welche vom Verschleißzustand der Druckgießform abhängt. Bedingt durch Temperaturwechselbeanspruchung der Form entstehen mit der Zeit feine Oberflächenrisse im Formstahl, die sich am Gußstück abprägen.

**Maßgenauigkeit** und **Maßhaltigkeit** sind weitere Qualitätsmerkmale. Für das Beibehalten hoher Maßgenauigkeit ist die Formabmessung verantwortlich. Das Erzielen hoher Maßhaltigkeit ist hauptsächlich von der Gleichmäßigkeit des Gießbetriebes abhängig. Die Formabmessungen müssen das Schwindungsverhalten des Gießwerkstoffes berücksichtigen. Für Aluminiumlegierungen liegt das zu erwartende Schwindmaß zwischen 0,5% und 0,7%. Das Schwindungsverhalten hängt von der Gußstückgestaltung, den

Wanddicken, der Massenverteilung und der relativen Größenabmessungen ab, und so ist das Schwindmaß niemals für alle Gußstückbereiche konstant.

## **7.2 Bearbeitung der Gußstücke**

Die aus der Druckgießform entnommenen Gußstücke müssen von den Anschnitten, vom Gießgrat und von den Überläufen getrennt werden. Die erfolgt in der Regel mit einer Entgratpresse und einem Schnittwerkzeug. Der Abguß wird dabei in das Werkzeug eingelegt und durch eine Presse werden an den Aussenkonturen der Gießgrat sowie die Gieß- und Überlaufanschnitte entfernt. Diese Arbeitsweise wird „Schnittentgraten“ genannt.

Das Entgraten der Gußstücke in den Schnittwerkzeugen geschieht in hydraulischen Entgratpressen (Abgratpressen), die je nach Art der Bedienung und Gußstückzuführung neben oder hinter der Druckgießmaschine angeordnet sind und eine gemeinsame Fertigungsgruppe bilden.

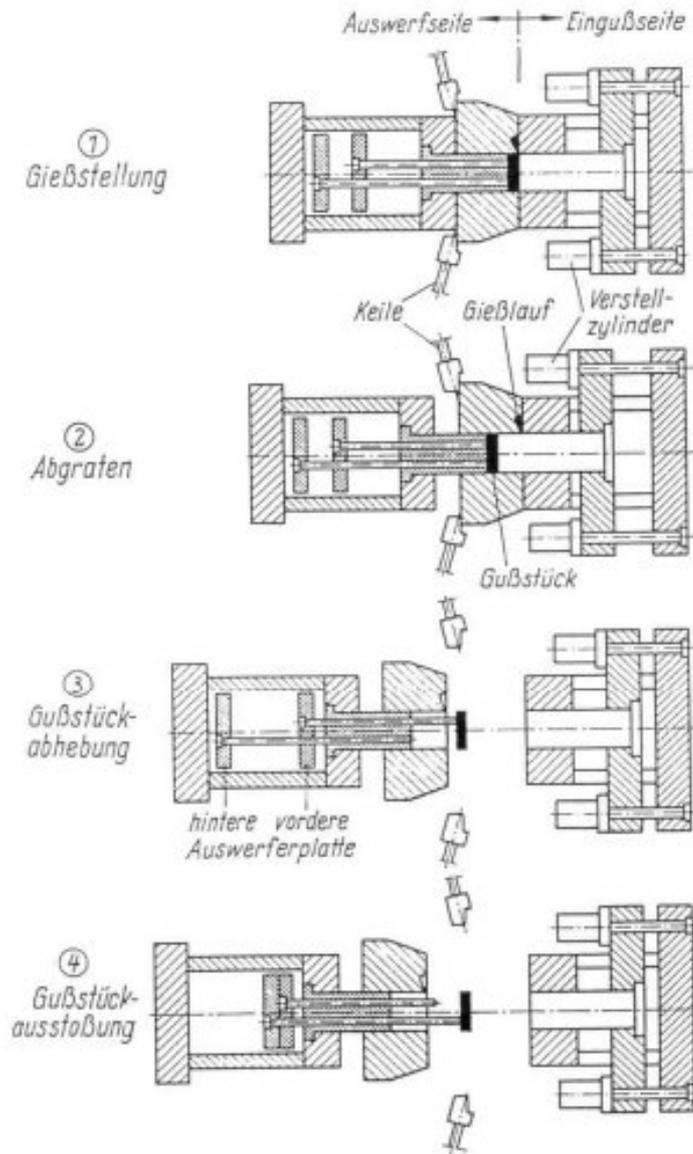
Eine Weiterentwicklung der einfachen Entgratpresse ist die Drehtischpresse, bei welcher die Gußstücke auf einem drehbaren Pressentisch neben dem Entgraten noch einer Weiterbearbeitung durch Drehen, Bohren, Gewinden usw. unterworfen werden können.

Das Entgraten kann auch in den vollautomatischen Gießzyklus integriert werden. Wird das Gußstück mittels Gußstückentnahmegertes aus der Form geholt und anschließend im Wasserbad oder durch Besprühen gekühlt und im Anschluß in die Entgratpresse eingelegt.

Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung eines kombinierten Entnahme-Abgratautomaten als geschlossene Einheit. Der Automat holt den Abguß aus der geöffneten Druckgießform und legt ihn in das Entgratwerkzeug ein, wobei unterwegs die Vollständigkeit des kompletten Abgusses fliegend durch Vorbeiführen an Infrarotsensoren überprüft wird. Auf diese Weise wird die Druckgießanlage zu einer vollautomatischen Fertigungsanlage.

Es ist auch möglich das Gußstück bereits auf der Druckgießmaschine zu entgraten, wenn die Formeinsätze unabhängig von der Öffnungs- und Schließbewegung der Form in Formschließrichtung beweglich angeordnet sind. Das Entgraten erfolgt in den

geschlossenen Formplatten durch eine Preßbewegung der Formeinsätze gegen die Formteilungsebene. Der Funktionsablauf ist in Abb. 4 ersichtlich



## **8 Emissionsminderungsstrategien**

Definition[5]:

Die Wirkung eines Schadstoffes in einem Ökosystem beruht entweder auf der Erhöhung einer schon bestehenden, natürlichen Stoffkonzentration oder auf einer toxischen Wirkung, bei der ein wichtiger Organismus aus diesem Ökosystem entfernt wird.

Die Schadstoffwirkung unterteilt man in:

- Gleichgewichtsverschiebungen
- funktionale Störungen

Entscheidend für die Schadstoffkonzentration in einem Umweltmedium sind:

- Massenstrom des Schadstoffeintrags
- Massenstrom des Schadstoffaustrags
- Speicherkapazität des Umweltmediums
- Abbauleistung des Umweltmediums

Wichtiges Ziel der Maßnahmen des Umweltschutzes ist es die Schadstoffkonzentrationen in den Umweltmedien zu minimieren. Eine solche Schadstoffminimierung kann erreicht werden durch:

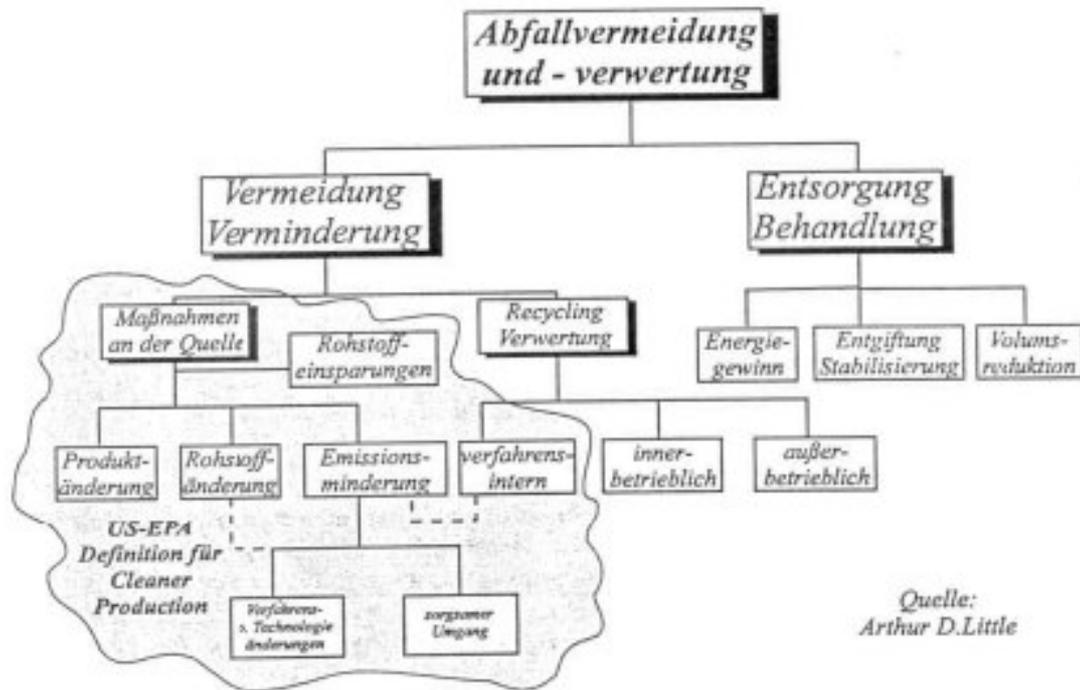
- Emissionsminderungsmaßnahmen
- Verwendungsverbote für gewisse Stoffe
- Sanierungsmaßnahmen

Während Sanierungsmaßnahmen die Wiederherstellung eines Zustandes toxikologisch tolerierbarer Werte zum Ziel haben, handelt es sich bei Emissionsminderungsstrategien und Verwendungsverbote um Präventivmaßnahmen.

Eine alleinige Emissionsminderung ohne Berücksichtigung der vorgeschalteten Verfahrensprozesse wird auch als „**End of Pipe-Strategie**“ bezeichnet. Das bedeutet, daß man bei der Emissionsminderung nicht am Beginn und damit bei der Entstehung der Schadstoffe ansetzt, sondern nur die Freisetzung solcher Schadstoffe verhindert. Ist ein Schadstoff in einem Umweltmedium nicht abbaubar, so reichert er sich in Abhängigkeit von der eingetragenen Menge und Zeitraum an. Daraus resultiert, daß der Schadstoffeintrag nicht minimiert, sondern vermieden werden muß.

**Cleaner Production**, was übersetzt soviel bedeutet wie umweltgerechte Produktion befaßt sich mit der in die Produktion integrierten Abfallvermeidung und der Verminderung von Umweltbelastungen. Die Erreichung dieser Ziele kann durch Rohstoffänderung, Produktänderung oder durch Verfahrenssubstitution und Recycling erreicht werden. Abbildung 5 stellt die Unterscheidung zu nachgeschalteten Verwertungs- bzw. Entsorgungsmaßnahmen dar.

Abbildung 5: Cleaner Production



## **8.1 Produktkreisläufe**

Stoffkreisläufe sind empfindlich gegen Einträge von Stoffen, wenn diesen nicht Stoffausträge in gleichen Größenordnungen gegenüberstehen und es so zu einer Anreicherung in den Kreisläufen kommt. Neben Stoffeinträgen in verschiedenste Stoffkreisläufe mit den verbundenen Auswirkungen ist die Schonung von Ressourcen ein weiterer Grund für die Minderung industrieller Emissionen.

Eine Vermeidung von Emissionen kann durch effektivere Emissionsminderungsmaßnahmen oder durch einen Verzicht auf den jeweiligen Stoff erreicht werden. Ist letzteres nicht möglich bietet sich noch die Rückführung von genutzten Produkten in und bei der Produktion entstandenen Nebenprodukten in den Produktionsprozeß an. Diese Schaffung von Produktkreisläufen trägt sowohl zur Minderung des Stoffeintrags in die Stoffkreisläufe als auch zur Schonung von Ressourcen bei.

Neben einer innerbetrieblichen Kreislaufführung von Stoffen ist die Nutzung der bei der Produktion anfallenden Abfälle als Rohstoffe für andere Produktionen möglich. Eine andere Methode ein bereits genutztes Produkt wieder so aufzuarbeiten, daß das Produkt selbst, oder zumindest seine Bestandteile nochmals genutzt werden können, ist das **Recycling**.

### **8.1.1 Kreisläufe in Produktionsprozessen**

Bei großtechnischen Synthesen unterscheidet man im Sinne der chemischen Verfahrenstechnik:

- Ausgangsstoffe
- Zwischenprodukte
- Produkte

- Reststoffe

Unter einem Reststoff versteht man:

- nicht umgesetzter Ausgangsstoff
- Katalysator
- Lösemittel

Reststoffe entscheiden über die Reinheit eines Produktes. Folgende Gründe sind ausschlaggebend für die Vermeidung von Reststoffen:

- Betriebswissenschaftliche Gründe
- Materialeigenschaften
- Gesundheitsgefährdung des Verbrauchers
- Gesetzliche Auflagen für den Betrieb der Anlage

Besonders gesundheitliche Gefährdungen des Verbrauchers zwingen zu einer vollständigen Entfernung von Verunreinigungen. Betriebswissenschaftliche Überlegungen führen dazu, Lösemittel nicht nur aus dem Produkt zu entfernen, sondern diese wieder der Produktion zuzuführen. Man bezeichnet dies als **Prozeßkreislauf**.

Gründe für die Vermeidung von Reststoffen durch Kreislaufführung sind aus betriebswirtschaftlicher Sicht:

- Senkung der Produktionskosten
- Vermeidung aufwendiger Emissionsminderungsmaßnahmen
- Senkung der Entsorgungskosten

### **8.1.2 Verwertung von Reststoffen**

Während die Kreislaufführung in Produktionsprozessen hauptsächlich aus betriebswirtschaftlichen Aspekten betrieben wird, sind die Gründe für eine konsequente Kreislaufwirtschaft

- die größtmögliche Abfallminimierung und
- ein effektiver Ressourcenschutz.

Dies kann in der Folge auch dazu führen, daß der Einsatz kostengünstiger Reststoffe über die Anwendung eines großtechnischen Verfahrens entscheidet.

## **8.2 Grenzwerte**

Bei der Verringerung von Schadstoffen in Wasser, Boden und Luft kann nach dem **Verbotsprinzip** und nach dem **Minimierungsprinzip** erfolgen. Das Verbotprinzip wird dort eingesetzt, wo keine natürlichen Abbaumechanismen für eine Schadstoffreduzierung vorhanden sind, während das Minimierungsprinzip sich an tolerierbaren

Schadstoffmengen für das jeweilige Umweltmedium orientiert und deshalb die Anwendung von Grenzwerten notwendig macht.

### **8.2.1 Der Grenzwert im rechtlichen Sinne**

Grenzwerte im Umweltschutz haben nur dann Sinn, wenn Behörden deren Einhaltung überwachen und jeder Grenzwert nach den verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnissen einer ständigen Überprüfung unterworfen werden.

Die wichtigsten betrieblichen Umweltschutzprinzipien sind

- das Vorbeugeprinzip und
- die Anwendung des jeweiligen Stand der Technik.

Das Vorbeugeprinzip dient der Abwehr von Gefahren und dem Schutz der Menschen und der Umwelt und ist Grundsatz des Abfallwirtschaftsgesetzes.

### **8.2.2 Der Grenzwert im medizinischen Sinne**

Im umwelthygienischen Sinne dienen Grenzwerte, um nachteilige oder belästigende Wirkung von Stoffen auf den Menschen vorbeugend zu minimieren.

Grundsätzlich wird zwischen drei Wirkungen auf den Menschen unterschieden:

- toxische Wirkung
- kanzerogene Wirkung
- belästigende Wirkung (Lärm, Gestank,...)

Die Ermittlung von Grenzwerten für toxische Schadstoffe orientiert sich an den jeweiligen Wirkschwellen und wird nur für einen genau definierten Anwendungsbereich vorgenommen.

### **8.2.3 Grenzwerte und Ökonomie**

Betriebswirtschaftliche Auswirkungen von Grenzwerten sind:

- geographische Umorientierung von Investitionen bei Unternehmern
- Wettbewerbsbegünstigungen für Hersteller leistungsgünstigerer, aber auch kostenintensiverer Anlagen zur Emissionsbegrenzung
- Verkürzung der Standzeit von Altanlagen
- Förderung für technische Innovation

Die Effektivität einer Emissionsminderungsmaßnahme steht in einem nichtlinearen Zusammenhang mit den Investitionskosten (Abb. 6). Im Bereich einer größtmöglichen Effektivität einer umwelttechnischen Maßnahme kann eine Steigerung des technischen Wirkungsgrades von wenigen Prozent zu einer Verdoppelung der Investitionskosten führen. Hier findet die „End-of-Pipe-Strategie“ ihre ökonomische Grenze und erfordert die Anwendung neuer Produktionstechnologien[7].

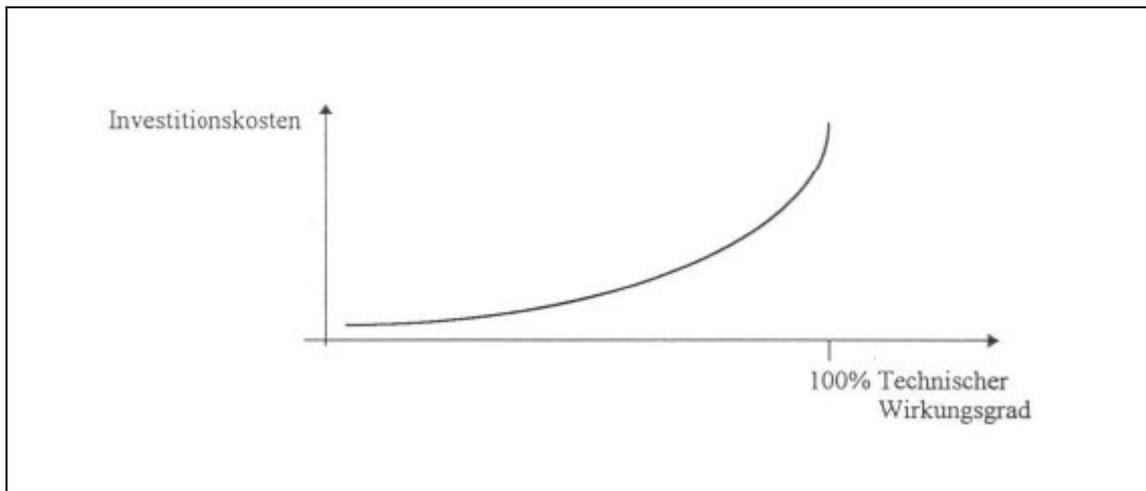


Abbildung 6: Abhängigkeit der Investitionskosten einer umwelttechnischen Maßnahme von ihrem technischen Wirkungsgrad

#### 8.2.4 Grenzwerte für Schadstoffe

Die in der Gefahrstoffverordnung enthaltenen Grenzwerte sind

- Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen (MAK-Werte)
- Technische Richtkonzentrationen (TRK-Werte)
- Biologische Arbeitsplatztoleranzwerte (BAT-Werte)

Diese Grenzwerte sind nur für den Arbeitsschutz gültig und sind rechtsverbindlich.

**MAK-Werte** sind Grenzwerte für nicht kanzerogene Stoffe, während **TRK-Werte** Grenzwerte für kanzerogene Stoffe am Arbeitsplatz darstellen. **BAT-Werte** stellen Grenzwerte für Schadstoffe und deren Stoffwechselprodukte in den Körperflüssigkeiten Blut und Harn der Arbeitnehmer dar [7]

### 8.3 Ökologiebezogene Planungsinstrumente

Als Basis eines umweltpolitischen Gesamtkonzeptes können folgende Prinzipien angesehen werden:

- Vorsorgeprinzip
- Verursacherprinzip
- Kooperationsprinzip

Durch das **Vorsorgeprinzip** soll erreicht werden, daß durch den frühzeitigen Einsatz von Maßnahmen möglichen Gefahren vorgebeugt wird.

Das **Verursacherprinzip** sagt aus, daß Kosten zur Vermeidung, Beseitigung und zum Ausgleich von Umweltbeeinträchtigungen vom Verursacher zu begleichen sind.

Beim **Kooperationsprinzip** ist die Zusammenarbeit zwischen Staat und der Gesellschaft bei der Realisierung umweltpolitischer Ziele gefordert, ohne dabei Verantwortungsbereiche zu verwischen. Diese Verantwortung setzt für Industrie und Handel eine umweltorientierte Unternehmungsführung voraus, was bedeutet, daß Umweltschutzziele schon bei der Planung, Durchsetzung und Kontrolle der Unternehmensaktivitäten berücksichtigt werden.

Als **ökologiebezogene Planungsinstrumente** gelten:

- Produktlinienanalysen
- Stoffstromanalysen
- Umwelt-Audits
- Öko-Controlling

Bei den ökologischen Aspekten der **Produktlinienanalyse** geht der Verbrauch an Rohstoffen und die Emissionen von Schadstoffen in Wasser, Boden und Luft ein, sowie ökonomische und soziale Aspekte.

Bei einer **Stoffstromanalyse** wird der Weg eines Stoffes von der Rohstoffgewinnung bis zur Entsorgung eines Produktes bilanziert und ist als Grundlage für neue technische Verfahren insbesondere von Recycling-Strategien anzusehen.

Im Rahmen eines **Umwelt-Audits** werden alle relevanten betrieblichen Umweltdaten erhoben und den Anforderungen des Gesetzgebers gegenübergestellt und in Hinblick auf deren Umweltrisikopotentials ausgewertet.

Das **Öko-Controlling** ist ein Instrument zur Planung, Steuerung und Kontrolle aller Entscheidungen in umweltrelevanten Fragen eines Betriebes.

### **8.3.1 Umweltmanagement und Öko-Audit**

Mit der EU-Verordnung 1836/93 wurden die Anforderungen über die Beteiligung gewerblicher Unternehmen an einem Gemeinschaftssystem für das Umweltmanagement und Umweltbetriebsprüfung festgelegt

D. Butterbrodt [8] beschreibt die Einführung eines Umweltmanagementsystems in 5 Phasen:

#### Phase 1:

Aufnahme der Projektarbeit und Analyse der betrieblichen Situation. Hier bekennt sich die Unternehmensleitung zum Umweltschutz als Aufgabe und zur Entwicklung eines umweltschutzorientierten Unternehmens.

#### Phase 2:

Bestandsaufnahme und erste Betriebsprüfung mit dem Ziel der Ermittlung aller umweltschutzbezogenen Rahmenbedingungen und der Beschreibung des Ist-Zustandes.

Phase 3:

Formulierung der Umweltziele und Entwicklung eines Umweltprogramms. Diese werden auf Basis der Bestandsaufnahme, der umweltschutzbezogenen Unternehmensgrundsätze und der bestehenden externen Forderungen formuliert.

Phase 4:

Entwicklung des Umweltmanagementsystems mit einer Beschreibung des Inhalts und des Aufbaus des zu erstellenden Umweltmanagementhandbuchs.

Phase 5:

Durchführung von Erfolgsprüfungen als das wichtigste Instrument zur Bewertung der umweltrelevanten Leistungen des Unternehmens. Die als Umweltbetriebsprüfungen werden in Abständen von bis zu drei Jahren wiederholt.

**8.3.2 Nutzen des Umweltmanagements für das Unternehmen:**

Die Auffassung, daß Wirtschaftlichkeit und umweltschutzorientierte Unternehmensführung im Widerspruch zueinander stehen, ist überholt. Vielmehr gilt, daß die systematische Umsetzung von umweltbezogenen Zielen auch betriebswirtschaftliche Steigerungspotentiale bietet. Diese sind in Bild 7 dargestellt.



Abbildung 7: Nutzen des Umweltmanagements

## **9 Abluftreinigung**

Vorsorge bei schädlichen Umwelteinwirkungen ist am wirkungsvollsten, wenn die Entstehung luftverunreinigender Stoffe von vornherein vermieden oder minimiert wird. Deshalb soll auch das Vermeidungs- und Minimierungsgebot zur Emissionsbegrenzung immer an erster Stelle stehen. Erst wenn dieses nicht zum gewünschten Ziel führt, sind notwendige emissionsbegrenzende Maßnahmen zu treffen.

Beim Druckgießen entstehen während des Arbeitsprozesses, durch flüssiges Metall oder die zum Einsatz kommenden Trenn- und Schmiermittel, Verunreinigungen, die vielerlei Auswirkungen haben. Zuerst auf den Menschen, der bei seiner Tätigkeit gesundheitsschädlichen Rauchen, Gasen und Dämpfen ausgesetzt ist. Auch die Umwelt leidet unter den emittierten Verunreinigungen. Daneben werden innerhalb der Arbeitshallen in kürzester Zeit Maschinen und Anlagen und die Gebäude selber verschmutzt, was in der Folge auch die Arbeitssicherheit, zB. durch rutschige Böden, herabsetzen kann. Zudem können sich diese Ablagerungen leicht entzünden und brennen.

### **9.1 Rauchabsaugung in Druckgießereien**

Aus Gründen der Arbeitssicherheit und des Umweltschutzes ist es notwendig, die beim Druckgießen anfallenden Gase und Dämpfe aus der Arbeitsumgebung abzuführen. Unzulässige Beimengungen sind dabei durch entsprechende Filterung zu entfernen.

Die Schadstoffe sind ein Gemisch aus kondensierbaren Aerosolen, feinen Rauchpartikeln und Dampf. Entstehungsorte dieser Schadstoffe sind die Form, die Füllkammer und der Kolben. Prozeßbedingt entstehen die meisten Schadstoffe zu dem Zeitpunkt, an dem der Volumensstrom am größten ist, nämlich während des Sprühvorganges. Hier werden mit dem Sprühmittel große Mengen an Druckluft in den Formenbereich geblasen.

## **9.2 Dachentlüftung**

Als einfachste Lösung erscheint eine Dachentlüftung, die oberhalb der Produktionsmaschinen angeordnet ist, denn die Gießmaschinen sind zumeist mit Entnahmeautomaten, Sprühgeräten, Warmhalteöfen und Pressen zugebaut. Dadurch ist im direkten Arbeitsumfeld das Platzangebot für eine etwaige Absaugungsanlage sehr beschränkt. Dazu kommt noch, daß der Raum über der Form für den Werkzeugwechsel zugänglich bleiben muß.

Darum ist der Gedanke naheliegend, den Rauch über Öffnungen im Hallendach entweichen zu lassen. Aus Gründen der Umweltschutzanforderungen ist aber der ungefilterte Austritt heute nicht mehr denkbar. Außerdem belasten die in der Halle verbleibenden Emissionen die Arbeitsumgebung und zusätzlich sind dadurch Schäden an Maschinen und Anlagen, zum Beispiel durch Korrosion, nicht auszuschließen. Auch spricht dagegen, einen Schadstoff sich zuerst ausbreiten zu lassen, statt diesen direkt an der Entstehungsquelle zu erfassen. Man ist deshalb bestrebt, die zu behandelnden Volumen- bzw. Massenströme so gering wie möglich zu halten und die Kosten auf Investitionsseite sowie Betriebs- und Folgekosten zu minimieren.

## **9.3 Raucherfassung durch Hauben**

Der Bau einer neuen Druckgußmaschine ist in der Regel mit Forderungen nach einer entsprechenden Absauganlage verbunden. Die Erfassungshaube ist dabei das wichtigste Element einer solchen Anlage, denn es kann nur Rauch, der überhaupt erfaßt wird, abgeführt und einer nachfolgenden Reinigung zugeführt werden.

Die Absaughaube sollte der Maschine so angepaßt sein, daß möglichst alle Emissionen damit erfaßt werden können. Um den Einfluß von Querluftströmungen zu minimieren sollte die Absaughaube einen möglichst dichten Abschluß zu den Türen der Druckgießmaschinen bilden. Wegen des großen Volumensstroms durch eingeblasene Preßluft beim Sprühen und Trocknen der Form sollte auf genügende Absaugleistung

geachtet werden. Haube und Absauganlage sollten gut aufeinander abgestimmt sein, um die für den Gießprozeß typische starke, stoßweise Rauchentwicklung sicher zu erfassen.

Der Formenwechsel oder Servicearbeiten dürfen durch die Absaughauben nicht behindert werden, da Rüstzeiten äußerst teuer und unproduktiv sind. Daher muß die Haube schnell und weiträumig zur Seite zu bewegen sein.

#### 9.4 Luftschleier-Absaugung

Luftschleieranlagen bewirken eine Teilung des Raumes in lufttechnisch getrennte Bereiche. Durch einen Blaskanal oberhalb der festen Formauffspannplatte wird ein Blasstrahl in Richtung einer Absaugeinrichtung, die sich auf der gegenüberliegenden Seite bei der beweglichen Platte befindet, geleitet. Die dabei entstehende Strömung wirkt dabei über dem Formbereich wie eine unsichtbare Abdeckung, durch die das Sprüh- und Entnahmegesetz ungehindert eintauchen.

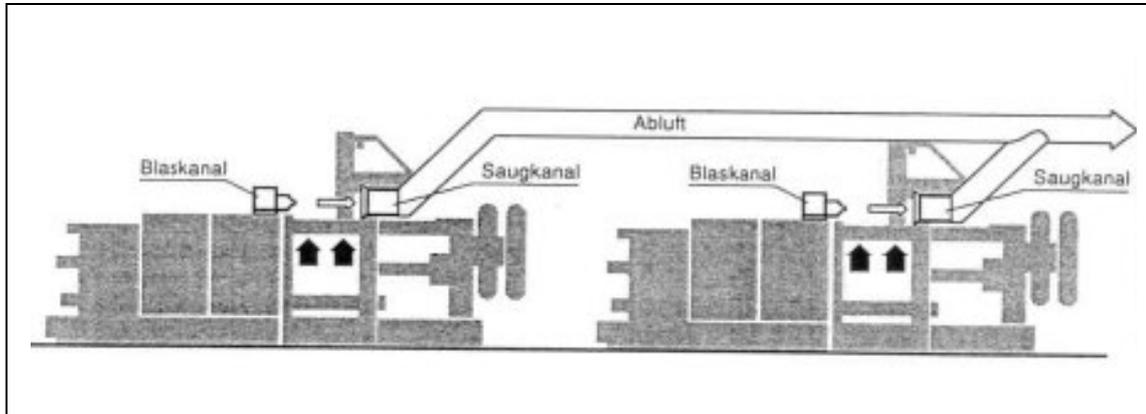


Bild 8: Luftschleierabsaugung

#### 9.5 Vergleich: Luftschleier und Haube

Bei einer Abzugshaube ist der Platzbedarf bedingt durch die Pufferwirkung für die stoßweise auftretende Rauchmissionen relativ groß. Luftschleieranlagen müssen wegen

der fehlenden Puffermöglichkeiten dafür mit einer größeren Absaugkapazität ausgestattet sein.

Eine Haube umschließt den Bereich oberhalb der Form komplett, wodurch bei der Auslegung darauf geachtet werden muß, daß ausreichende Zugänglichkeit gewährleistet bleibt. Bei Luftschleieranlagen gibt es in Sachen Zugänglichkeit in der Regel keine Schwierigkeiten.

Absaughauben besitzen bei gleicher Saugleistung einen größeren Erfassungswirkungsgrad als Luftschleier. Um das zu kompensieren, empfiehlt es sich beim Luftschleier höhere Absaug- und Filterleistungen anzusetzen.

Der Energiebedarf bei der Luftschleierabsaugung ist um 25-30 % höher als bei der Absaughaube, wodurch die Betriebskosten deutlich höher sind. Das kommt davon, daß zusätzlich zum höheren Luftvolumen, welches abzusaugen ist, noch der Energiebedarf der Blaseinrichtung anfällt. Bei den Investitionskosten sind die Luftschleieranlagen aber um 15-20 % günstiger.

### **9.6 Dezentrale oder zentrale Filteranlage**

Die dezentralen Filter werden direkt an den einzelnen Hauben installiert und die abgesaugten Dämpfe direkt am Entstehungsort gefiltert. Bei der zentralen Filteranlage werden die erfaßten Dämpfe der einzelnen Absaughauben über eine Abluftrohrleitung gesammelt und einer einzigen Filteranlage zugeführt.

Auf den ersten Blick scheint die zentrale Erfassung günstiger zu sein, da sich Investitions- und Instandhaltungskosten auf nur eine Anlage konzentrieren. Es sind in der Praxis jedoch einige Nachteile festzustellen. Schon bei 5 Druckgußmaschinen besteht zum Beispiel ein stündlicher Absaugbedarf von 30000-40000 m<sup>3</sup> Abluft. Dafür sind aber bereits Absaugkanäle von über 1 Meter Durchmesser erforderlich, was bei der Platzierung zwischen Maschine, Decke und Hallenkran schon problematisch werden kann. Dazu kommt noch, daß die entfernte Luftmenge zugfrei ersetzt werden muß,

woraus die Anschaffung einer Belüftungsanlage mit gleicher Kapazität nach sich zieht. Ein weiterer Nachteil ist auch, daß man bei einer nachträglichen Veränderung von Maschinenstandorten nicht mehr so flexibel ist als bei der dezentralen Filteranlage. Auch kann das Ersetzen einer kleinen Druckgußmaschine durch eine größere problematisch werden, wenn die gestiegene Absaugleistung mit den vorhandenen Absaugquerschnitten nicht mehr bewältigt werden kann.

## **9.7 Die Filteranlage**

Die von der Abzugshaube erfaßten Dämpfe sind hochkonzentriert und erfordern dadurch eine effiziente Reinigung. Diese wird bei mechanischen Filtern nur durch mehrstufige Anlagen gewährleistet. Die Kosten für den regelmäßigen Filteraustausch sind dadurch natürlich entsprechend hoch. Auch besteht die Gefahr, daß sich Maschengewebe- oder Faservliesfilter schnell zersetzen können, wodurch in Folge die Absaugleistung stark nachläßt. Der Austausch und die Entsorgung der Filterzellen führen zusätzlich noch zu hohen Betriebskosten.

### **9.7.1 Elektrofilter**

Deshalb werden in den letzten Jahren vermehrt Elektrofilter eingesetzt, die folgende Vorteile besitzen:

- Die Abscheidungsleistung im Submikrobereich ist sehr hoch
- hohe Filterabscheideleistung
- Sehr hohe Lebensdauer (deutlich über 50.000 Betriebsstunden)
- Durch geringeren Druckverlust im Vergleich zu Gewebefiltern folgt ein geringerer Energieverbrauch und ein reduzierte Geräusentwicklung

- Durch den Einsatz von automatischen Reinigungssysteme werden Reinigungskosten gesenkt.

Elektrofilter unterliegen im Gegensatz zu Filterpatronen, Taschen- oder Bandfiltern keinem Verschleiß, wodurch die Lebensdauer sehr hoch wird. Elektrofilter müssen in der Regel alle 2-4 Wochen gereinigt werden. Dabei verwendet man Filterwaschanlagen, die bei größeren Filteranlagen integriert und vollautomatisch sein können.

### **9.7.2 Naßarbeitende Abscheider**

Die im Anschluß vorgestellten Hochleistungs-Naßabscheider der Firma Keller Lufttechnik arbeiten nach dem Venturidüsenprinzip. Diese Abscheider werden vor allem für die Abscheidung von Stäuben eingesetzt, die hinsichtlich ihrer Qualität und der physikalisch-chemischen Eigenschaften für eine trockenabscheidung nicht geeignet sind, wie:

- brennbare und explosive Metallstäube
- Stäube in Transportluft mit hoher relativer Luftfeuchtigkeit
- Stäube, die in Wasser gelöst erneut einem Verfahrensprozeß zugeführt werden können (Recycling)
- Stäube, die mit Kühlschmierstoffen zusammen abgesaugt werden

Nach abgesaugten Luftvolumenstrom werden zwei Bauformen unterschieden:

#### **9.7.2.1 Venturiabscheider VDN (Firma Keller-Lufttechnik)**

Es handelt sich hierbei um einen Gerätetyp, der aus Kompaktabscheider, Bedüsungzone, Tropfenabscheider, Wasservorlage mit, Entsorgungseinrichtung, Absaugventilator mit schalldämpfender Abluftführung besteht.

Diese Kompaktabscheider werden für Luftvolumenströme von 2500-28000 m<sup>3</sup>/h hergestellt. In einer Bedüsungszone im Rohgaseintritt wird Wasser injektorartig angesaugt und intensiv zerstäubt. Der entstehende Wassertropfenschleier benetzt die im Luftstrom enthaltenen Staubteilchen. In einem runden Abscheidergehäuse erfolgt die Trennung von Wassertropfen und Luftstrom nach dem Fliehkraftprinzip. Der gereinigte Luftstrom wird über einen Radialventilator von wo er durch einen schallgedämpften Reingasraum geblasen wird.

#### **9.7.2.2 Venturiabscheider VDN-TAS ( Firma Keller-Lufttechnik)**

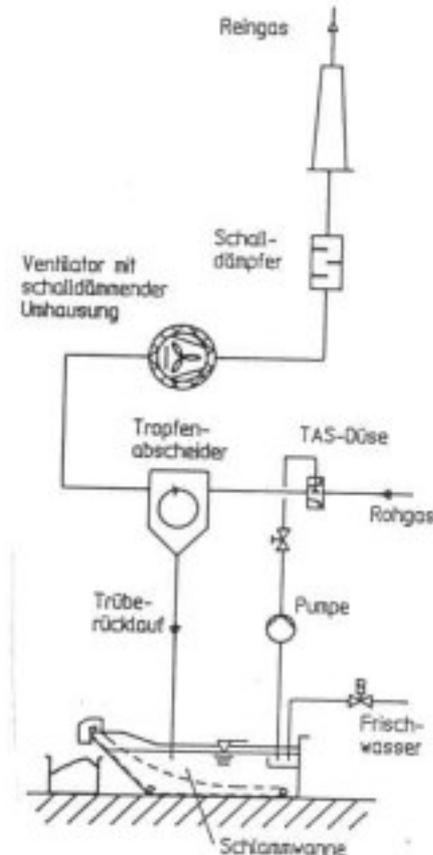
Dieses System kann aus einzelnen Baugruppen ab einem Luftvolumenstrom ab 10000 m<sup>3</sup>/h individuell zusammengesetzt werden.

Das Waschwasser wird der Düse über eine Pumpe zugeführt und durch hohe Beschleunigung intensiv zerstäubt. Dabei werden die im Rohgas enthaltenen Staubteilchen benetzt. Die Trennung von Wasser und Luft erfolgt wieder nach dem Fliehkraftprinzip im Tropfenabscheider. Die gereinigte Luft wird durch den Absaugventilator zum Abluftkamin gefördert.

Der abgeschiedene Staub sedimentiert in einer Schlammwanne und wird über eine Räumvorrichtung ausgetragen. Das vorgeklärte Wasser wird über die Pumpe angesaugt und der Düse im Kreislauf wieder zugeführt. Die Venturidüse kann an einer beliebigen Stelle in der Rohgasleitung angeordnet werden, sodaß z.B. eine Rohrleitungsverstopfung durch feuchte, klebrige Stäube oder durch Taupunktunterschreitung vermieden wird. Als frei kombinierbares System können verschiedene VDN-TAS Anlagen an eine zentrale Schlammwanne angeschlossen werden.

Bild 9: Schemazeichnung

VDN-TAS System:



### 9.7.2.3 Sprühmittelabsaugung mit Emulsions-Nebel-Abscheider (ENA)

Bei allen Maschinen, an denen wasserlösliche Trennmittel eingesetzt werden, kann eine neuartige Kombination aus Erfassungshaube und Nebelabscheider (ENA) installiert werden. Das Neuartige dieses von der Firma Keller-Lufttechnik entwickelten Verfahrens ist, daß der ENA direkt in die Haubenkonstruktion integriert ist, wodurch Rohrleitungen, durch die ein System aufwendiger und teurer werden, entfallen. Durch die extrem hohe Abscheideleistung der Nebelabscheider (unter  $1 \text{ mg/m}^3$  für Aerosole) ist es möglich die gereinigte Luft wahlweise ins Freie oder als Umluft in die Halle zurückzuführen.

Das Trennmittel-Luft-Gemisch wird im ENA in der Rohgasverteilungskammer erst gleichgerichtet und auf eine Prallwand geführt. Hier erfolgt die Abscheidung der groben Tropfen und Partikel. Um nachfolgende Filterstufen zu entlasten wird das abgeschiedene Material ausgeschleust. Die sich anschließende Endfilterstufe übernimmt die Abscheidung der feinen Aerosolfraktion. Die Elemente des Filters sind regenerierbar,

wodurch diese nicht, wie bei Einwegfiltern üblich, ständig ersetzt und als Sondermüll teuer entsorgt werden müssen.

Gegenüber Naßabscheidersystemen ergeben sich folgende Vorteile:

- deutliche Reduktion der Betriebskosten durch stark verringerten Energiebedarf
- minimierte Investitionskosten durch Entfall des kompletten Rohrleitungssystems
- geringere Betriebskosten durch Entfall der Wasseraufbereitung, Wasserersatz und Schlamm Entsorgung
- möglicher Umluftbetrieb durch wesentlich wirkungsvollere Abscheideleistung
- Kostenvorteil durch nahezu wartungsfreien Betrieb des Nebelabscheider

### **9.8 Abluft- oder Umluftbetrieb**

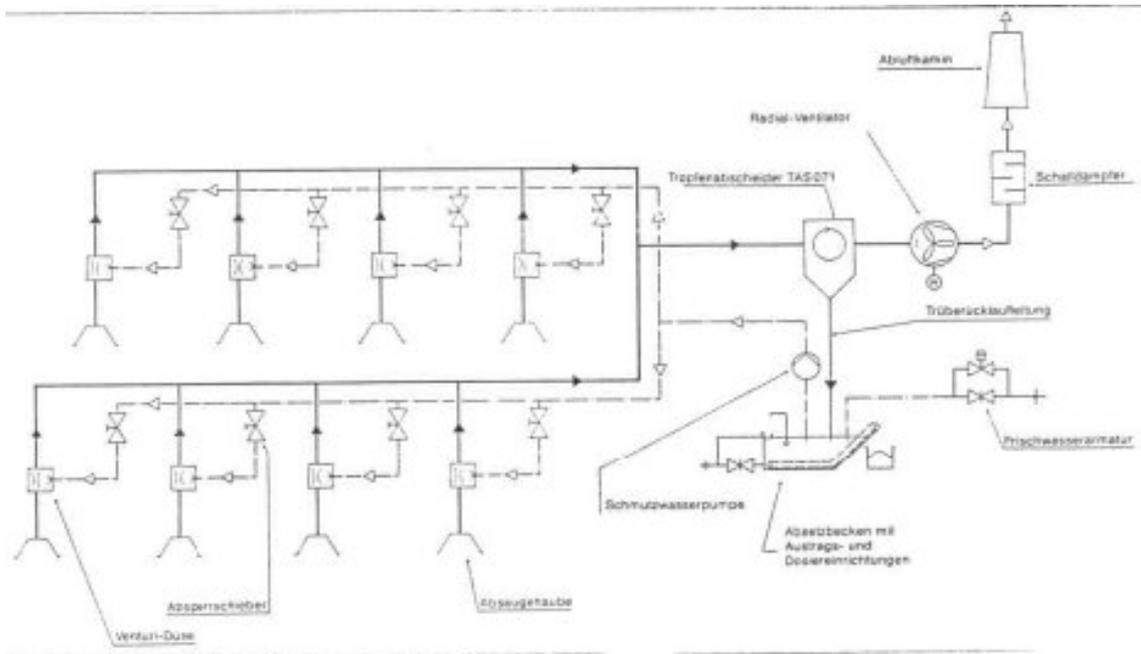
Am Häufigsten wird eine Form der Absaugung verwendet, die einen Umluftbetrieb mit 100%iger Reinlufrückführung oder einen Mischbetrieb mit teilweiser Reinlufrückführung besitzt. Um die gereinigte Luft rückführen zu können, darf kein erhöhtes Gefährdungspotential vorhanden sein und die gereinigte Luft darf die Grenzwerte für Staub und Aerosole nicht überschreiten. Die konventionelle Hallenlüftung kann dadurch bei dieser Betriebsweise um mehr als 50% reduziert werden. Dadurch wird neben des Luftreinigunseffektes auch gleichzeitig erheblich beim Verbrauch von Heizenergie eingespart.

Beim Abluftbetrieb gelangt die abgesaugte Luft nach dem Filtern ins Freie, was besonders beim Absaugen von toxischen und kanzerogenen Stoffen mit erhöhtem Gefährdungspotential notwendig wird. Enthalten die Kühl- oder Schmierstoffe oder die zu produzierenden Gußstücke krebserregende Substanzen, so muß bei Reinlufrückführung 1/10 des TRK-Wertes unterschritten werden.

Aus Gründen der Arbeitssicherheit sollte die Abluft ins Freie abgeführt werden. Es ist jedoch sinnvoll eine Wärmerückführung durchzuführen.

### 9.9 Beispiel Entstaubungsanlage

Abbildung 10: Beispiel Entstaubungsanlage



## **10 Abwasserreinigung**

### **10.1 Abwasserzusammensetzung**

Druckgießereien liefern meist bis zu vier unterschiedliche Abwässer:

- Wasser aus den **Auffangwannen** an den Druckgießmaschinen
- Wasser aus der **Oberflächenbehandlung**
- Abwasser aus der **Metallbearbeitung**
- **Haushaltsabwasser** (Waschräume, Kantine)

Vier Stoffe können das Wasser in unterschiedlichen Konzentrationen belasten: Salze, Gase, organische Stoffe und Mikroorganismen.

In den Auffangwannen bei den Druckgießmaschinen sammeln sich folgende Stoffe an:

- Kühlwasser aus der Formoberflächenkühlung
- Kühlmedium aus Leckagen der Form, Termoöle
- Formtrennstoffe
- Zusatzschmierstoffe
- Kolbenschmierstoffe, Hydrauliklecköl, Wasserglykol
- Maschinenschmierstoffe
- Fette, Mineralöle

Es handelt sich hierbei um wassermischbare Produkte und um solche auf Ölbasis. Demzufolge kann sich das Abwasser aus Öl oder emulgierten bzw. gelösten, öligen Bestandteilen, Bioziden, Tensiden, Wachsen, Polymeren, Aldehyden, Glykolen und Silikonen zusammensetzen.

Biozide sind den Trennstoffen beigefügt, um den Bakterienbefall und Pilzbefall zu verhindern. Sie töten jedoch bei hoher Konzentration auch in der biologischen Kläranlage die dort notwendigen Bakterien ab. Formaldehyd können sich aus anderen Flüssigkeiten bilden, zum Beispiel aus Glykolen. Glykole sind, wenn sie in geringen Mengen im Abwasser enthalten sind, nicht umweltbelastend, sie erhöhen nur den CSB-Wert.

Obwohl Ethylenglykol biologisch vollständig abbaubar ist, kann eine unbegrenzte Einleitung in die öffentliche Kanalisation nicht erlaubt werden. Ethylenglykol ist im Katalog für wassergefährdende Stoffe mit Gefährdungsklasse 1 angeführt.

Bei den Maßnahmen der Abwasserentleerung ist darauf zu achten, das Abwasser an der Druckgießmaschine in Auffangwannen zu trennen. Zwischen den Formspannplatten unter der Form sollte die Wanne so angeordnet sein, daß das gesamte Sprühmedium, das Leckwasser aus der Formenkühlung sowie das Wasser aus der Formenoberflächenkühlung von den Leckagen der Druckgußhydraulik getrennt gesammelt wird. Nur so kann gewährleistet werden, daß das Glykol entsorgt werden kann, ohne Unmengen an Wasser mit abzuführen.

## **10.2 Wiederverwendbarkeit des trennstoffangereicherten Abwassers**

Der von der Form abtropfende Formtrennstoff ist dann wiederverwertbar, wenn von der Trennstoffseite her die wichtigsten Voraussetzungen einer Wiederverwendbarkeit gegeben sind, wie die nötige Reinheit des Formtrennmittels und des zur Verdünnung eingesetzten Wassers, besonders bei der Bakterienbelastung und den gelösten Stoffen wie höherwertigen Alkoholen, Tensiden usw. Es ist jedoch zu beachten, daß ein über eine Aufbereitungsanlage rezirkulierter Formtrennstoff nicht unbegrenzt wiederverwendet werden kann. Die wassermischbaren Schmier- und Trennstoffe wurden fein versprüht und ihre Wirkstoffe durch Sauerstoff- und Temperatureinwirkung

bedeutend beeinträchtigt. Es sind Radikalgruppen vorhanden, welche zu erhöhter Korrosion führen können, was bedeuten würde, daß zwar Formtrennstoff eingespart würde, jedoch erhöhte Kosten durch zusätzliche Korrosionsbehandlung von Form und Maschinen anfallen würden. Deshalb ist es anzuraten, bei der Rückführung einen Teil des Formtrennstoffes aufzubereiten und den Rest so zu reinigen, daß er die Schmier- und Trenneigenschaften gegenüber einer frisch angesetzten Emulsion nicht beeinträchtigt.

Die Trennmittelwirkstoffe werden auch wesentlich durch Mikroorganismen abgebaut, welche Spaltprodukte bilden und den pH-Wert beeinflussen. Das kann Schaumbildung, Geruchsbelästigung und verstopfte Leitungen zur Folge haben. Aus diesem Grund sollte die verwendete Flüssigkeit hygienisiert und von Bakterien befreit werden. Dies kann durch den Zusatz von Bioziden oder durch den Einsatz von bakterientötenden Strahlungsquellen erfolgen. Eine komplette Bakterienabtötung ist aber auch nicht erwünscht, da es sonst zu einer vermehrten Eiweißanreicherung des Wassers durch zerfallende Bakterien auftreten könnte, die toxikologisch sogar bedenklich werden könnte.

### **10.3 Verfahren der Abwasserreinigung**

Nicht alle Verfahren der Abwasserreinigung sind für die Aufbereitung bzw. Reinigung der Abfall-Emulsionen aus Druckgießereien geeignet. Im folgenden sollen nur jene Verfahren behandelt werden, die für eine Emulsionsaufbereitung bzw. Emulsionsspaltung geeignet sind.

### **10.4 Emulsionsspaltung**

#### Chemische Verfahren:

- Koagulation, Flockung und Fällung durch Zusatz von Säuren, Salzen, Koagulantien, Demulgatoren, Flockungshilfsmitteln, etc.
- Direkte Verbrennung

Physikalische Verfahren:

- Adsorption
- Ultrafiltration
- Flotation
- Zentrifugieren
- Verdampfer

Kombination der genannten Verfahren:

- Elektroflotation
- Entspannungsflotation

**10.5 Abfallemlionsaufbereitungsschritte**

Da in Druckgießereien die Abfallemlionen Vielstoffgemische sind und zumeist in zwei oder mehr Phasen vorliegen, sind zusätzlich zur Emulsionsspaltung noch vor- und nachgeschaltete Verfahrensschritte zur Emulsionaufbereitung nötig,

1. Abscheiden einer aufschwimmenden Phase

In den meisten Fällen handelt es sich dabei um Verunreinigungen auf Mineralölbasis (Öle, Fette), welche nicht im Abwasser emulgiert sind oder unlösliche flüssige Verunreinigungen (Kohlenwasserstoffe, etc.). Diese bilden eine auf der Abfallemlion

schwimmende Schicht, welche im ersten Reinigungsschritt entfernt wird, um die Effektivität der nachgeschalteten Reinigungsstufen zu verbessern.

## 2. Abtrennung von Feststoffen

Entfernt werden Späne und andere feste Verunreinigungen, welche über Absetzbecken, Bandfilter etc. erfolgen kann.

## 3. Aufspalten der Emulsion

Die emulgierten Stoffe werden aus der Abfallemlusion herausgelöst, damit sie im Anschluß vom Wasser getrennt werden können. Daraus folgt, daß Trennmittlemlusionen nur so stabil als gerade nötig sein sollen, um den Aufwand für deren Aufspalten in der Abfallemlusion in Grenzen halten zu können.

## 4. Abtrennen von zuvor abgetrennten Bestandteilen

Diese Abtrennung kann schon während der Spaltung in der selben Anlage erfolgen (zB.: Ultrafiltration, Vakuumverdampfer) oder in einem nachgeschalteten Verfahrensschritt (zB.: chemische Flockung mit angeschlossener Flotation).

Es können jedoch mit den meisten Verfahren nur emulgierte Stoffe aus dem Wasser entfernt werden, gelöste Stoffe jedoch nicht (Ausnahme: Vakuumverdampfer).

## 5. Permeat-Weiterbehandlung

Bei der Verwendung von Vakuumverdampfern sind im Wasser gelöste Bakterien kein Problem, da sie bei der Emulsionsspaltung zum Großteil abgetrennt werden und so ist keine Nachbehandlung nötig.

Verwendet man jedoch ein anderes Emulsionstrennverfahren, ist es notwendig das gereinigte Wasser noch weiter zu behandeln, da noch organische gelöste Stoffe (Tenside, höhere Alkohole, etc.) und Bakterien enthalten sind. So wird zumeist eine Kläranlage zur biologischen Reinigung nachgeschaltet.

Soll das Wasser rückgeführt werden, so ergeben sich Probleme bei der Beseitigung der Bakterien.

#### 6. Beseitigung des abgeschiedenen Öls oder Ölschlammes

Die abgetrennten Emulsionsbestandteile, die zum Großteil aus Ölen, Kohlenwasserstoffen, Fetten, etc. bestehen, müssen gemeinsam mit den Stoffen, die vor der Emulsionsspaltung abgetrennt wurden, als Sonderabfall entsorgt werden.

#### 7. Abführung (Rückführung) des Spaltwassers

Das bei der Aufbereitung anfallende Wasser wird entweder abgeführt (zumeist in die öffentliche Kanalisation) oder als Prozeßwasser oder Kreislaufwasser weiterverwendet.

### **10.5.1 Ultrafiltration**

Die Ultrafiltration zählt zu den physikalischen Abwasserreinigungsverfahren und ist ein Teilgebiet der Membrantechnik, zu der auch Ultra-, Mikro- und Hypofiltration, Dialyse, etc. zu zählen sind. Diese Verfahren erschließen durch die Entwicklung leistungsfähiger, chemisch und mechanisch stabiler temperatur- und langzeitbeständiger Membranen breite Einsatzgebiete. Im Vergleich zu Verdampfung, Destillation, Extraktion oder Sorption entfallen energieintensive Phasenumwandlungen teilweise.

Bei der Ultrafiltration werden hauptsächlich drei Arten von Membranen eingesetzt, nämlich Rohr-, Platten- und Hohlfasermembranen, welche aus Polyamid, Polypropylen, PTFE, Celluloseacetat, porösem Glas, etc. bestehen können.

Die Wirkungsweise eines Ultrafiltrationsmoduls zeigt Bild 11. Das aufzutrennende Medium wird mit einer Geschwindigkeit von 3 bis 5 m/s bei einem bestimmten Gegendruck an den Membranen vorbeigeleitet. Die Abfallerulsion tritt in die Retentatzone ein und das Permeat wird von der Membran absobiert. Es diffundiert durch die Membran in die Permeatzone, von wo es abgeleitet wird.

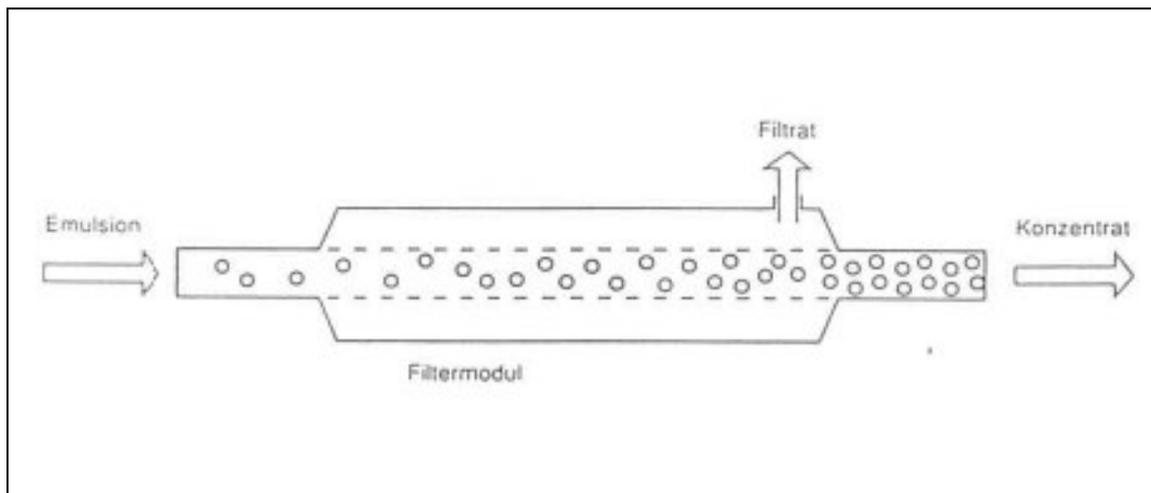


Bild 11: Wirkungsweise Ultrafiltration

Durch die Membran treten vor allem kleine Moleküle (hauptsächlich Wasser). Das Retentat strömt durch die Retentatzone der Membran und wird weiter aufkonzentriert. Zurückgehalten werden alle im Wasser gelösten Substanzen, wie Öle, Fette, Wachse, Emulsionströpfchen, Pigmente, feste Bestandteile, etc..

Ein treibender Konzentrationsunterschied zwischen den Medien beiderseits der Membran ist Voraussetzung für die Trennung

Mit Ultrafiltrationsanlagen kann der Mineralölgehalt auf Werte unter 10 mg/l reduziert werden. Der CSB-Wert wird nur geringfügig gesenkt, da niedermolekulare Stoffe wie Tenside, Glykole, etc. die Membranen passieren können.

Ultrafiltrationsanlagen zeichnen sich vor allem durch ihre kompakte Bauweise, die gute Emulsionsspaltung, niedrige Betriebskosten und die Tatsache aus, daß keine zusätzlichen Chemikalien von Nöten sind. Negativ wirkt sich aus, daß Glykole, Tenside, etc. nicht abgetrennt werden können und Bakterien nur teilweise zurückgehalten werden.

### **10.5.2 Chem.- phys. Spaltanlagen & Flotation**

Die chemischen Verfahren werden zur Emulsionsspaltung, die physikalischen Verfahren zur Fraktionstrennung bzw. zur Vor- und Nachreinigung eingesetzt.

Die **chemische Emulsionsspaltung** funktioniert nur mit ionenaktiven Emulgatoren bei Zuhilfenahme von Flockungsmitteln. Für die Spaltung verwendet man neben Säuren und Demulgatoren auch mehrwertige Metallsalze, bei deren Hydrolyse ein Adsorptionseffekt eintritt, bei dem auch feinste Öltröpfchen in die Hydroxidflocke eingebunden werden.

In Sedimentationsanlagen werden die Feststoffe je nach spezifischem Gewicht und Teilchengröße abgeschieden.

Der Schlamm wird vom Boden der Anlage abgezogen und entwässert. Wegen der verschiedenen Eigenschaften der anfallenden Schlämme, wie der Entwässerbarkeit, muß die Wahl der Apparate nach Filtrationsversuchen getroffen werden.

Die **Flotation** stellt ein weiteres Emulsionsspaltverfahren dar. Öle und Fette, auch feinverteilt, lassen sich aufgrund ihrer Hydrophobie direkt flotieren, während Emulsionen deren Oberflächen hydrophil sind, zunächst mit Hilfe von Flockungsmitteln erst hydrophob gemacht werden müssen.

Einsatz finden vor allem zwei Verfahren, die Entspannungsflotation und die Elektroflotation. Die Vorteile dieser Anlagen liegen in der kompakten Bauweise, der kontinuierlichen Fahrweise, die guten Emulsionsspalteigenschaften sowie den im Vergleich zu chemisch arbeitenden Spaltmethoden niedrigeren Betriebskosten. Nachteilig wirkt sich aus, daß durch die Zugabe von Chemikalien und der Bildung von Hydroxiden das gereinigte Wasser aufgesalzen werden kann, was zu erhöhten Betriebskosten infolge nötiger Zugabe weiterer Chemikalien führen kann. Weiters ist es durch Flotationsmethoden nicht möglich, alle im Wasser gelösten Stoffe zu entfernen..

## **10.6 Beispiel; Aufbereitung durch 2-stufige Spalt- und Flotationsanlage im Durchlaufverfahren**

### **10.6.1 Emulsionsspeicher**

Im Emulsionsspeicher werden die anfallenden Abwässer der einzelnen Maschinen gesammelt. Das Speicherbecken sollte so groß ausgelegt werden, daß Metallpartikel absinken können. Auch sollte sich die Emulsion teilweise selbst trennen können, das bedeutet, daß freies Öl nach oben aufschwimmen und durch einen Skimmer abgeräumt werden kann.

### **10.6.2 Ölabscheider**

Durch das laufende Abtrennen von Öl und Wachs aus leichter Emulsion ist ein Hochleistungsölabscheider mit Koaleszenzwirkung empfehlenswert. Dieser sammelt bei Ruhezeit über sinkenden Wasserspiegel das Oberflächenöl in einer Glocke. Während des Betriebes wird das Öl über steigenden Wasserspiegel nahezu wasserfrei in einen Sammel-tank gedrückt.

### **10.6.3 Pumpspeicherbecken**

Das Pumpspeicherbecken dient als Vorlage zur nächsten Aufbereitungsstufe und sollte das Volumen eines einstündigen Anlagenbetriebes besitzen.

### **10.6.4 Emulsionsspalt- und Flotationsanlage**

Bei kleine Abwassermengen ist es empfehlenwert eine Chargenanlage zu verwenden. Ab einem Abwasseranfall von über 700 l/h sind jedoch Durchlaufflotationsanlagen wegen ihrer Vorteile in punkto Chemikalieneinsatz und Wartung zu bevorzugen.

Bei beiden Systemen muß auf die richtige Auswahl von Spaltmitteln, Neutralisationsmitteln und Flockungshilfsmittel geachtet werden.

Die Dosierung der Chemikalien kann mit modernen zweistufigen Spaltanlagen im Durchlaufverfahren deutlich gesenkt werden. Der zusätzlich anfallende Schlamm durch den Einsatz von Chemikalien liegt in einer Größenordnung von rund 350-500 mg pro Kubikmeter Abwasser.

Ein möglichst hoher Lufteintrag beeinflusst die Flotation positiv. In letzter Zeit wurden durch die Entwicklung spezieller Flotationspumpen oder externer Lufteinspeiser in dieser Richtung große Fortschritte erzielt. Durch den aufgebauten Druck wird die Luft im Abwasser dispergiert. Nachgeschaltet findet eine Entspannung statt, bei der sich die Luft in Form kleinster Bläschen an die Flocken hängt und diese im Reaktionsstank nach oben hin austreibt.

Die richtige Volumenauslegung des Reaktors ist dabei von besonderer Wichtigkeit, um eine optimale Flotation und Reinigung zu erzielen. Dazu sind im besonderen empirische Erfahrungen notwendig, da die theoretischen Kenntnisse der Parameter zur Anlagenauslegung nur bedingt zutreffen, da die Dichte und Viskosität des Abwassers von Druckmaschinen variieren und das Glykol zu einer laufenden Re-Emulgierung bereits gespaltener Emulsion führt.

Durch die Spaltung und Flotierung werden aus dem Abwasser entfernt:

- Kohlenwasserstoffe
- Wachs
- Partikel
- Schwermetalle (ungelöst, nicht komplex gebunden)
- anionische und kationische Tenside
- Graphit
- Silikon

Die Einleitwerte für Kohlenwasserstoffe (Öl) werden unterschritten, die für Schwermetalle eingehalten.

Nach der Reaktion wird das gereinigte Wasser durch eine zweite Flotationsstufe weiter gereinigt. In dieser Reinigungsstufe werden Restverschmutzung, Nachflockung und Schaum entfernt. Flotiert wird dabei mit der Luft, die nach der Druckentspannung durch das Druckregelventil frei wird, also ohne Zusatz von Chemikalien.

Bei einer Leistung von 700-3000 l/h ist eine zweistufige Spaltanlage mit Überwachungs/Schaltschrank ca. 2 Meter lang und 1 Meter tief, bei einer Höhe über alles von 1,8 Meter. Der benötigte Energieaufwand pro m<sup>3</sup> Abwasser liegt bei 1,5 kW.

#### **10.6.5 Schlammbehandlung**

Der abgeräumte Schlamm aus dem Reaktionsstank der Spaltanlage sollte am besten in einer Kammerfilterpresse entwässert werden. Falls im Schlamm viel Wachs enthalten ist, sollte eine Vorkonditionierung vorgenommen werden, damit der glasige Schlamm nicht die Poren der Filterkammern verklebt.

Der Wartungsaufwand für Spaltanlagen ist gering und besteht hauptsächlich aus der Reinigung des Reaktionsstanks, sowie der empfohlenen Gesamtreinigung der Anlage mit pH-Sondenreinigung und Kalibrierung alle 3 Monate. Auch an der Kammerfilterpresse fallen hauptsächlich Reinigungsarbeiten an.

Der Schlammanfall durch die eingesetzten Flüssigspaltnittel ist sehr gering und beträgt zusätzlich zum ausgetragenen Schmutz etwa 0,5 kg/m<sup>3</sup> Wasser.

Der Naßschlammanteil beträgt etwa 3-5% von der Wasserdurchsatzmenge und kann über Absetzfilter auf etwa 2% reduziert werden.

Bei Durchlaufflotationsanlagen für größere Abwassermengen oder kontinuierlichen Anfall kleinerer Mengen empfiehlt sich der Einsatz einer Kammerfilterpresse. Je nach Konsistenz des Schlammes kann das Volumen bis unter 1% der Wasserdurchsatzmenge gebracht werden.

Nicht aus dem Abwasser entfernt werden können das gelöste Glykol und nicht ionisierte Tenside. Dies kann je nach Konzentration einen noch immer sehr hohen CSB-Wert verursachen. Dieser kann nur durch nachgeschaltete Feinnachreinigung über Adsorption oder Destillation gesenkt werden.

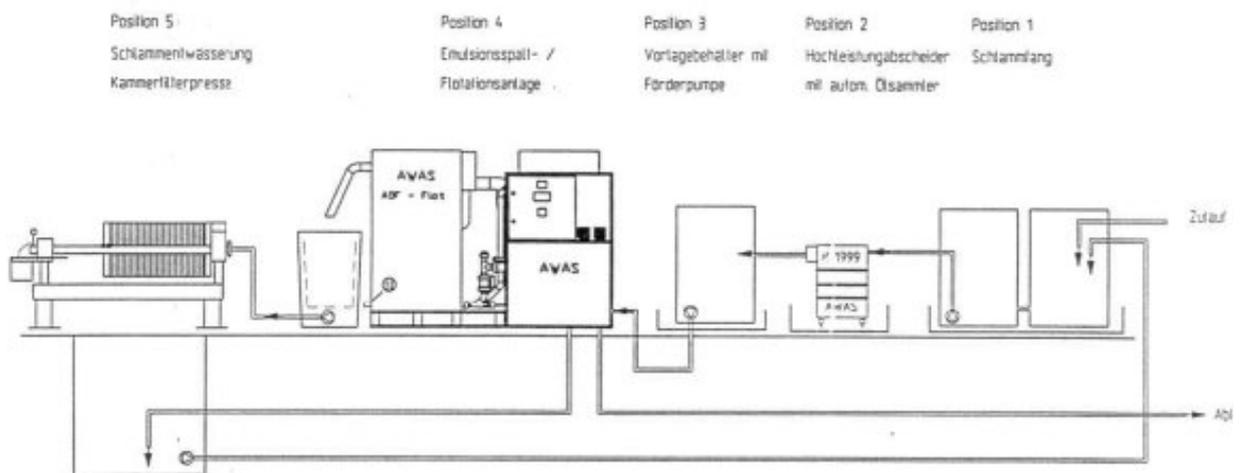
Falls über eine Wiederverwendung des Wassers nachgedacht wird, muß darauf hingewiesen werden, daß Glykol im Wasser zu einer Verfärbung der Gußstücke mit Einschlüssen führt, was für untergeordnete Teile sicherlich kein Problem darstellt, wohl aber für kritische Teile wie z.B. bei speziellen Anforderungen an Sicherheitsteile. In diesem Fall muß eine Feinreinigung nachgeschaltet werden.

Aus diesen Gründen sollte auf jeden Fall versucht werden, das Glykol direkt an den Druckgußmaschinen abzufangen und separat abzuleiten.

### 10.6.6 Vergleich von Aufbereitungskosten

Anlagensystem	Vakuumdestillation	AWAS Spaltanlagen	
		Chargenanlage	Flotation
<b>Leistung pro Stunde</b>	300 l	600 l	2500 l
<b>el. Aufwand pro l</b>	90 W	0,5 W	1,5 W
<b>Entsorgungsanteil ca.</b>	15%	3%	3%
<b>Anlagenpreis ca.</b>	150.000 DM	38.000 DM	95.000 DM
<b>el. Aufwand pro 1000 l</b>	31,50 DM	0,20 DM	0,53 DM
1 kWh DM 0,35			
<b>Chemikalien pro 1000 l</b>		5,00 DM	5,00 DM
<b>Entsorgung pro 1000 l</b>	67,50 DM	13,5 DM	13,5 DM
à DM 450	ca. 15%	ca. 3%	ca. 3%
<b>laufende Kosten gesamt</b>			
<b>pro 1000 l</b>	<u>99,50 DM</u>	<u>18,70 DM</u>	<u>19,03 DM</u>
<b>AfA 20% bei 1 Schicht/</b>			
<b>220 Tage = 1760 h</b>	56,82 DM	12,67 DM	3,60 DM
<b>7% Zins auf 1760 h</b>	19,89 DM	2,52 DM	1,26 DM
<b>Gesamtkosten pro 1000 l</b>			
bei 1 Schichtbetrieb an			
220 Tagen und Vollast	<u><b>176,21 DM</b></u>	<u><b>33,89 DM</b></u>	<u><b>23,89 DM</b></u>

**10.6.7 Ablaufschema Flotationsanlage mit Ölabscheider:**



### **10.7 Verdampfung und Destillation**

Durch Verdampfung oder Destillation wird wegen der vollständigen Verdampfung von Wasser auch die stabilste Emulsion gespalten. Charakteristisch für diese Verfahren ist, daß sie ganz ohne chemische Zusätze auskommt und auch kein zusätzlicher Schlamm anfällt. Die Stabilität der Emulsion hat keinerlei Einfluß auf das Verfahren, wodurch sich eine Umstellung des Druckgußbetriebes auf ein anderes Trennmittelkonzentrat nicht auf die Emulsionsbehandlungsweise auswirkt.

Ein Ausführungsform für Verdampfer ist der Umlaufverdampfer, welcher hauptsächlich für nur leicht verschmutzte Abwässer eingesetzt wird. Daneben sind noch Fallfilm- und Dünnschichtverdampfer im Einsatz.

Das Verdampfungsverfahren ist sehr energieintensiv und deshalb dann anzuraten, wenn der abzudampfende Wasseranteil gering ist. Da aber bei Druckgußprozessen der Wasseranteil sehr hoch ist, wodurch der Energieaufwand für die Wasserverdampfung ebenfalls sehr hoch ausfällt, wird durch Anlegen eines Unterdruckes der Siedepunkt des Wassers gesenkt, damit die Wirtschaftlichkeit dieses Verfahrens gewährleistet bleibt. Trotzdem zählt die Verdampfung zu den energieintensiveren und somit teuren Abwasserbehandlungsmethoden. Es werden jedoch die besten Ergebnisse erzielt und das gereinigte Abwasser kann wiedereingesetzt werden.

### **10.8 Mögliche Probleme bei der Rückführung von Wasser oder Emulsion**

Problematisch bei der Wiederverwendung von aufbereitetem Wasser oder gereinigter Emulsion ist zum einen, daß beim Reinigungsprozeß nicht alle Verunreinigungen entfernt werden können. Die biologische Abbaubarkeit der Trennmittel hat zum anderen den Nachteil, daß die für den Abbauprozess verantwortlichen Bakterien, wenn sie sich in zu großer Zahl in der neuen Trennmittlemulsion befinden, sich negativ auf das Gußstück auswirken.

### **10.8.1 Gelöste Stoffe**

Für die ausreichende Entfernung von im Wasser gelösten Stoffe mit relativ kleinem Molekulargewicht stehen nur äußerst aufwendige Verfahren, wie Umkehrosmose, mehrstufige Destillation, Vakuumverdampfung und Nanofiltration zur Verfügung, welche wegen ihrer hohen Investitions- und Betriebskosten nicht sehr wirtschaftlich arbeiten.

Bei der Wiederverwendung gereinigter Prozeßabwässer besteht die Gefahr der Aufkonzentration der im Wasser gelösten Stoffe. Da aber beim Aufbringen des Wassers auf die heiße Form ein Teil verdampft, wird der Aufkonzentrierungsprozeß gemindert aber nicht verhindert.

Durch die Herabsetzung der Wasserqualität auf Grund der Kreislaufführung wird nicht mehr die optimale Mischung mit dem Trennmittel erreicht. Zusätzlich können im Wasser enthaltene Alkohole und Tenside die Trennmittelemlusion stabiler gestalten, was sich negativ auf die Trennbarkeit in der Emulsionsspaltanlage und in weiterer Folge auf die Beschaffenheit der Gußstücke auswirken kann. Es ist aber nicht möglich über diese Auswirkungen eine allgemein gültige Aussage zu treffen, da viele verschiedene Faktoren, wie das verwendete Emulsionsspaltverfahren, das verwendete Formtrennmittel oder die Art der Verunreinigung zusammenwirken.

### **10.8.2 Bakterien**

Bei der Kreislaufführung von Wasser oder Trennmittelemlusion kann sich wegen der biologischen Abbaubarkeit der Formtrennmittel ein Zersetzungs- oder Fäulnisprozeß unter Sauerstoffausschluß ergeben, welcher von einer zu hohen Bakteriekonzentration ausgelöst wird. Aufgrund des vielfältigen Nahrungsangebot können sich die Bakterien sehr schnell vermehren und in der Folge den Gießprozeß stark beeinträchtigen. Bakterien scheiden beim Abbau ihrer Nahrung Säuren aus, die zu Oberflächenverfärbungen auf den Gußstücken oder zu Korrosion führen können. Dazu kommt noch, daß Wirkstoffe des Trennmittels zersetzt werden können, wodurch das Formtrennmittel unbrauchbar werden kann.

Es stellt sich nun natürlich die Frage, ab welchen Bakterienmengen sich der negative Einfluß auf die Qualität des Druckgußerzeugnisses nachweisen läßt.

Bei einer Bakterienkonzentration von  $10^5$  pro ml Formtrennmittel erkennt man an exponierten Zonen der Druckgießformen, also an Kernen und in Füllzonen der Druckgußform, Metallisationen. Bei diesen Bakterienmengen treten in der Regel noch keine Geruchsbelästigung auf. Die bekannten „Montagsprobleme“ in den ersten 2 Stunden der Produktion in denen Geruchsbelästigungen aus der Trennstoffversorgung vorkommen können, deuten auf Bakterienmengen von  $10^6$  bis  $10^7$  pro ml hin. Bei Konzentrationen von  $10^7$  pro ml befindet sich die Emulsion in einem instabilen Zustand, die durch partielle Anhäufung der Wirkstoffe zu einem spürbaren Anstieg der Porosität im Gußgefüge führt.

Die Bakterien werden zwar beim Aufbringen des Formtrennmittels auf die heiße Form abgetötet, die Probleme treten aber schon vorher auf und zwar am Weg von der Aufbereitungsanlage bis zum Auftragen. Solange die Trennmittelemlusion immer frisch gemischt und verbraucht wird, zeigen die Bakterien wegen ihrer geringen Konzentrationen nur geringe Auswirkungen. Bei Betriebsstillständen wirkt sich der Bakterienbefall stark aus und kann soweit führen, daß Teile des Trennmittels unbrauchbar werden. Dies geschieht deshalb gerade bei Produktionsstillstandszeiten, da wegen der schlechten Belüftung ein vermehrtes Wachstum der anaeroben Mikroorganismen stattfindet. Der Betrieb kann dann erst nach erfolgter Reinigung, Desinfektion und einer Neubefüllung aufgenommen werden. Durch die entsandenen Produktionsausfall resultieren in Folge hohe Kosten für den Betrieb.

Es ist deshalb immer auf eine gute Belüftung und auf das ständige in Bewegung halten des Trennmittels zu achten. Auch eine Zugabe von Bioziden ist eine Möglichkeit, um das Problem des Bakterienbefalls besonders in Stillstandszeiten in den Griff zu bekommen. Es ist jedoch die Biozidmenge so gering zu halten, daß nicht durch deren Einsatz wieder negative Auswirkungen entstehen. Weiters ist auf die Möglichkeit einer Resistenzbildung der Mikroorganismen nicht zu vergessen.

Eine Desinfektion sollte kurz vor dem Abstellen der Druckgußmaschine erfolgen, um den Chemikalieneinsatz so gering wie möglich zu halten. Dabei wird Trennmittelanlage und das Verteilersystem mit einem Trennmittel gefüllt, welches eine Biozidkonzentration von mindestens 0,1% besitzt. Dadurch soll sichergestellt werden, daß während des Betriebsstillstandes das gesamte Trennmittelsystem desinfiziert wird. Vor dem erneuten Anfahren wird das mit Bioziden versetzte Trennmittel entleert, damit mit frisch zubereitetem Trennmittel die Produktion ohne Zeitverzögerung begonnen werden kann.

## **11 Neuentwicklungen**

### **11.1 Trockene Kolbenschmierstoffe**

Bisher war es üblich, bei der Schmierung von Gießkammer und -kolben von Kaltkammer-Druckgießmaschinen Schmierstoffe auf Ölbasis, die mit einer Düse aufgesprüht werden, zu verwenden.

Diese besitzen jedoch folgende Nachteile:

- Verunreinigung der Umgebung der Gießeinheit durch ölhaltiges Aerosol
- überschüssiger Schmierstoff fällt in Auffangwanne und muß entsorgt werden
- Beim Kontakt des Schmiermittels mit dem heißen Metall kommt es zudem zu Verkrackungs- und Pyrolysevorgängen, welche Rauchentwicklung mit sich bringen, die sich nachteilig am Gußstück auswirken können

1991 entwickelte das US-Unternehmen J&S Chemical Co „Shotbeads“, einen granulierten Trockenschmierstoff, um das Öl aus den Schmierstoffen herauszuhalten. Der Schmiereffekt ist nämlich nicht auf das Öl selbst zurückzuführen, es dient lediglich als Trägersubstanz für Zusatzstoffe, die eine Schmierung bewirken. Der neue Schmierstoff ist ein Konzentrat dieser Zusatzschmierstoffe auf Wachsbasis, die für Höchstdrücke geeignet sind. Die Granulatkörner haben einen Durchmesser von ca. 2 bis 3 mm. Etwa 60 Körner reichen für die Schmierung eines 9 kg schweren Aluminiumgußstückes.

Das Trockenschmiermittel verteilt sich unter der Hitzeeinwirkung schnell auf der Kammeroberfläche. Es ergibt sich ein reibungsreduzierter Film, der die Druckzusatzstoffe an die Stellen bringt an denen sie benötigt werden. Bei einer Reduzierung der Lötwirkung ergibt dieser Film eine maximale Schmierwirkung.

Beim Gießen des Metalls wird der Schmierfilm im Schußzylinder nach vorn gedrückt. Wenn sich der Schußkolben nach vorne bewegt, wird der Film in eine Aussparung gedrückt, wodurch eine extra Schmierung des Eingusses und der Gießrinnenbereiche gewährleistet wird. Die Schußspitze ist vorne und an den Seiten von einem Schmierschutzfilm vollständig umgeben. Die Menge an Trockenschmiermittel hängt einerseits von der Größe der Spitze und andererseits vom Gießgewicht ab. Sie werden eingebracht, wenn der Schußkolben zurückgezogen ist.

Zugabemengen:

Gußgewicht in kg	Shotbeadmenge in Gramm
bis 0,5 .....	0,2
0,5 - 1,0 .....	0,2 - 0,4
1,0 - 2,0 .....	0,4 - 0,6
2,0 - 4,0 .....	0,6 - 0,8
4,0 - 6,0 .....	0,8 - 1,0
6,0 - 8,0 .....	1,4 - 1,8
8,0 - 10,0 .....	2,0 - 3,0
10,0 - 15,0 .....	3,0 - 4,0
15,0 - 20,0 .....	4,0 - 6,0

Bild 13: Zugabemengen Trockenschmiermittel in Abhängigkeit des Gießgewichtes

### **11.1.1 Vorteile von Shotbeads**

- Geringe Porosität, weil es kein durch Öl verursachtes Entgasen gibt
- Erhöhte Schußgeschwindigkeit (bis zu 20%ige Erhöhung)
- Saubere Maschinen, da beim Gießen das gesamte Material verbraucht wird
- Kein Anfall von Altöl
- längere Lebensdauer für Spitzen (Bis 20% gegenüber reinen Ölen und eine 10-fache Lebensdauer gegenüber wasserbasierten Druckkolbensmiermitteln)
- Sauberere Glanzgußteile
- Keine Behandlung von mit durch Schmieröl verunreinigtes Abwasser
- Bereich der Formfason bleibt sauberer. Weniger Stillstandzeit zur Säuberung von durch ölasierten Druckkolbensmierölen hervorgerufenen Kohlenstoffanreicherungen
- Gießen bei niederen Temperaturen, da kein Kühlen des Metalls im Schußzylinder erfolgt, wie bei konventionellen Ölen. Die Schmelzkesseltemperatur kann um ungefähr 10°C gesenkt werden bei gleichbleibender Gießtemperatur.

Der wichtigste Gesichtspunkt ist der positive Beitrag zur Umweltverträglichkeit des Betriebes und zur Humanisierung des Arbeitsplatzes. Daneben wird bei der Verwendung von Trockenschmiermittel bis zu sechs mal weniger Schmiermittel in einem Schußzylinder benötigt als bei der Verwendung von konventionellen Ölen, wodurch nicht nur Geld eingespart wird, sondern die Gußteile auch frei von Öl gehalten werden.

## **11.2 Trockene Bearbeitung**

Die Realisierung von Trockenbearbeitung in der spanenden Fertigung hängt ab vom Fertigungsverfahren, vom zu zerspanenden Werkstoff sowie der Geometrie und den Qualitätsanforderungen des zu bearbeitenden Bauteils.

### **11.2.1 Kühlschmierstoffeinsatz**

In der spanenden Fertigung ist der Kühlschmierstoff bis heute ein wesentlicher Bestandteil des Zerspanungsprozesses. Beim Drehen, Bohren, Fräsen und Gewinden werden heute noch in ca. 90% der Bearbeitungsfälle Kühlschmierstoffe eingesetzt. Dabei werden mengenmäßig zu 80% wassermischbare Kühlschmierstoffe verwendet und zu 20% nichtwassermischbare Kühlschmierstoffe, also Öle, eingesetzt.

Kühlschmierstoffe erfüllen folgende Funktionen:

- Kühlung
- Schmierung
- Spühlung
- Reinigung
- Korrosionsschutz von Werkzeug und Werkstück

Kühlschmierstoffe sorgen so für gute Oberflächenqualitäten, lange Werkzeugstandzeiten und den Späneabtransport.

Nachteilig wirken sich aus:

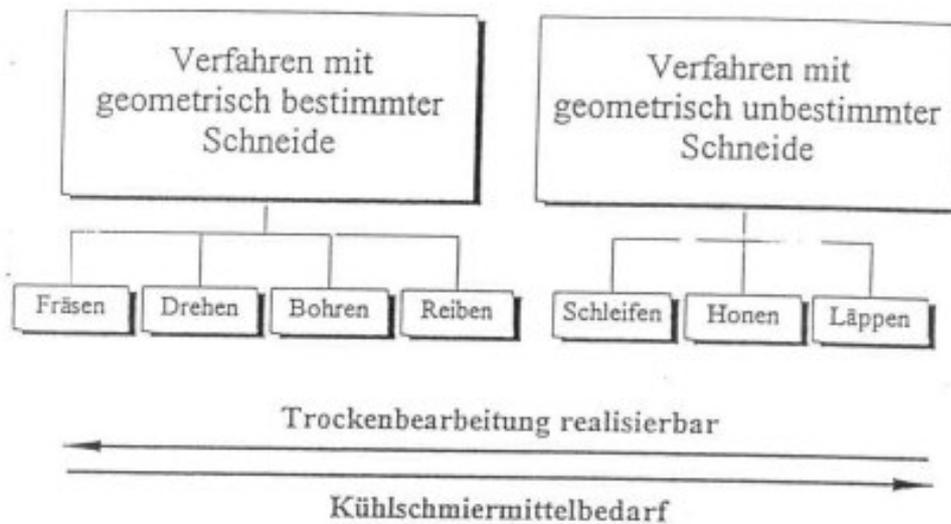
- Waschen von Werkstücken und Werkzeugen
- Zerstörung von Maschinenlack, Schläuchen, Kabelisolierungen, Dichtungen
- Verschlechterung der Arbeitsplatzhygiene
- Anfallende Kosten wegen notwendiger Entfernung aus den Abwässern

Kostenmäßig machen die eigentlichen Beschaffungskosten der Kühlschmiermittel lediglich den geringsten Teil aus. Den wesentlich größeren Kostenanteil nehmen Lagerung, Pflege und Wartung ein. Der durch Kühlschmierstoffeinsatz verursachte werkstückbezogene Fertigungskostenanteil ist in den meisten Fällen nicht genau bekannt und wird im allgemeinen, da der Kühlschmierstoff nur als Fertigungshilfsstoff betrachtet wird als nicht sehr hoch eingeschätzt. Aus der Literatur bekannte Zahlen aus der Automobilindustrie schwanken sie in einer Bandbreite von 7 - 17%.

Die Möglichkeit, auf den Einsatz von Kühlschmierstoffen ganz zu verzichten oder zumindest die benötigten Umlaufmengen zu reduzieren, ist im wesentlichen abhängig von der Zerspanungsaufgabe, vom gewählten Bearbeitungsverfahren, der gewünschten Bauteilqualität, dem Werkstoff und der Art der Kühlschmierstoffversorgung.

Der Werkstückstoff, die Spanlänge und Schwierigkeiten bei der Späneabfuhr sind die wesentlichen Einflußparameter bei der Beantwortung der Frage, ob ein Zerspanungsfall „trockengelegt“ werden kann, oder nicht. Wie im Bild 14 ersichtlich wird, ist die Realisierbarkeit der Trockenbearbeitung am ehesten bei Verfahren mit geometrisch bestimmter Schneiden gegeben. Während sich das Fräsen und Drehen am einfachsten trocken beherrschen lassen, sind die Bohrverfahren, die für die Einführung der Trockenbearbeitung kritischen Verfahren, da beispielweise schon das Werkzeug aufgrund der fehlenden Kühl- und Schmierwirkung Probleme bereitet.

Bild 14: Eignung der Fertigungsverfahren zur Trockenbearbeitung



Die Möglichkeit, bei der Drehbearbeitung auf den Einsatz von Kühlschmierstoffen zu verzichten hängt neben dem Werkstoff und der Bauteilgeometrie weiterhin auch wesentlich vom Maschinentyp ab. Während bei NC- und CNC-Maschinen eine Trockenbearbeitung durchaus realisierbar ist, sofern die Voraussetzungen für einen störungsfreien Spantransport gegeben sind, eignen sich Mehrspindeldrehautomaten für Trockenbearbeitung wegen der beengten Verhältnisse im Arbeitsraum, wodurch die Späneabfuhr erschwert und behindert wird, nicht. Für bestimmte Arbeitsgänge (Bohren, Reiben) werden auf Mehrspindeldrehautomaten noch HSS-Werkzeuge eingesetzt, wodurch beim Verzicht auf Kühlschmierstoffen eine deutliche Reduzierung bei diesem Schneidstoff resultiert.

### **11.2.2 Minimalmengen-Kühlschmierung (MMKS)**

Dort wo eine reine Trockenbearbeitung technologisch nicht zu realisieren ist, bietet die Minimalmengenkühlschmierung (MMKS) eine Alternative (Bild 15). Das Ziel ist die Kontaktstelle Werkzeug-Werkstück mit einer geringen Menge Kühlschmierstoff (KSS) möglichst verlustfrei zu erreichen. Im Idealfall kann die Verbrauchsschmierung erreicht werden, so daß Werkstück und Späne den Fertigungsprozeß trocken verlassen.

Hohe Anforderungen an die Genauigkeit der Bauteile zeigen eine mögliche Grenze der Trockenbearbeitung auf. Wo die Trockenbearbeitung aufgrund zu hoher Rauheiten, unzureichender Maß- und Formgenauigkeit oder thermischer Beeinflussung von Randzonen (noch) nicht einsetzbar ist, stellt die Minimalmengenkühlschmierung eine echte Alternative in Richtung einer Maschine ohne Kühlschmierstoff dar.

Die Zerspanbarkeitseigenschaften der Werkstoffe stellen eine weitere Grenze für die Trockenbearbeitung dar. So ist die Aluminiumbearbeitung wegen ungünstiger Werkstoffeigenschaften, wie der hohen Wärmeleitfähigkeit und Wärmedehnung sowie des niedrigen Schmelzpunktes von Aluminium, derzeit noch nicht durchführbar. Mit dem Einsatz der MMKS wird durch Kühlung und Schmierung speziell von duktilen Werkstoffen die Prozeßtemperatur gesenkt und der Spanbruch begünstigt.



Bild 15 : Einsatzfälle für Minimalmengenkühlschmierung

### **11.3 Integriertes Tribologiekonzept**

Neueste Entwicklungen sowohl bei den Formtrennstoffen als auch bei der Auftragechnik führen zu einer wesentlichen Verfahrenseffizienzsteigerung und einer Verbesserung der Gußqualität.

#### **11.3.1 Stand der Technik beim Trennstoffauftragen auf Druckgießformen**

Automatische Systeme zum Trennstoffauftragen auf Druckgießformen sind schon weit verbreitet. Sie sollen sicherstellen, daß der Trennstoff schneller und präziser auf die Druckgießform aufgebracht werden kann. Der Grundsatz lautet, den Trennstoff in verdünnter Form in möglichst großen Mengen und kürzester Zeit auf die Oberfläche der Form aufzubringen, mit dem Ziel, die Formoberfläche rasch in den Temperaturbereich abzukühlen, in dem eine Benetzung der Oberfläche durch den Trennstoff stattfinden kann, so daß sich ein Schmier- bzw. Trennfilm bildet.

Langzeitstudien führten zu der Entwicklung eines neuen Sprühkopfes (Bild 16), welcher zusammen mit einer entsprechenden Ansteuerung eine Sprühtechnik ermöglicht, bei der die Zykluszeit deutlich reduziert, die Trennstoffmenge verringert und die Formstandzeit durch geringere thermische Belastung der Druckgießform erhöht wird bei gleichzeitiger Lärmemissionsminderung.

Durch diese neue Sprühtechnik ergibt sich eine bessere Qualität der Gußteile und eine Verringerung der Entsorgungskosten für Trennstoffbelastete Abwässer.

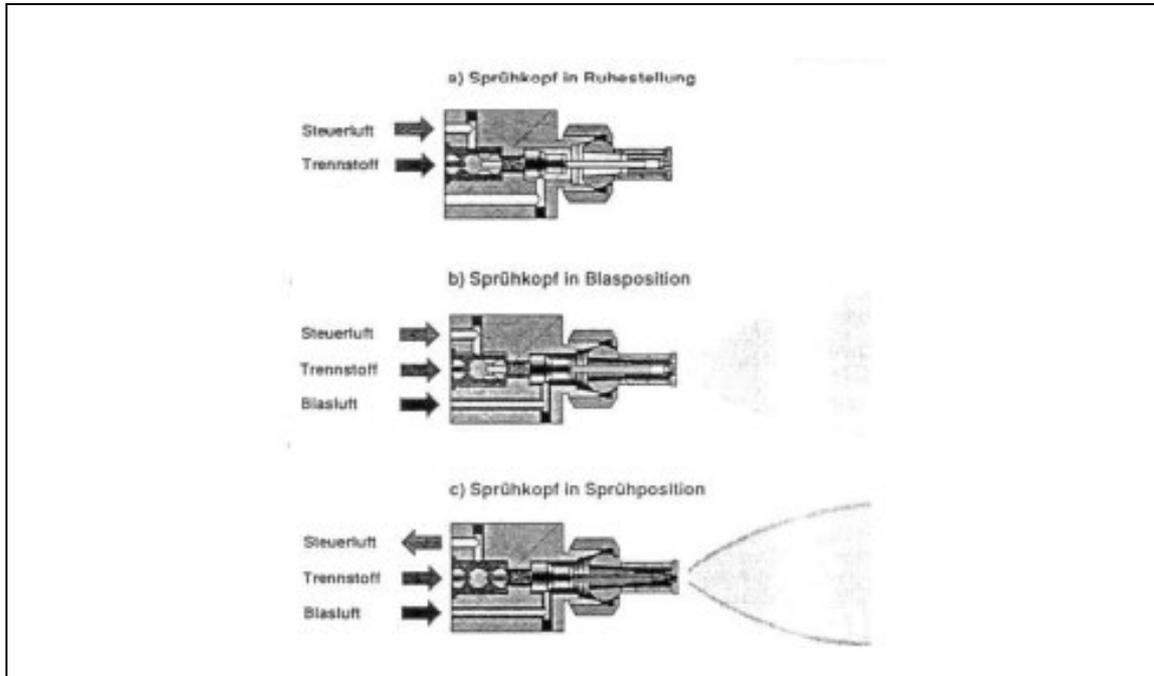


Bild 16: Neuentwickelter Sprühkopf

### 11.3.2 Benetzungstemperatur

Untersucht wurden zwei unterschiedliche Trennstoffauftragstechniken untersucht, die konventionelle Auftragstechnik mit relativ hohem Druck (5-6 bar) und hohem Trennstoffdurchsatz pro Zeiteinheit und ein Verfahren mit geringerem Sprühdruck mit feinem Sprühnebel- Soft-Spray- Technik genannt. Es sollte ermittelt werden welche Sprühtechnik eine raschere Benetzung der Formoberfläche möglich macht. Jeder Mechanismus, der eine Benetzung bei geringerer Abkühlung ermöglicht, trägt dazu bei, die thermische Belastung der Druckgießform zu verringern und damit die Formstandzeit zu erhöhen. Die Vorteile lagen deutlich auf Seiten der Soft-Spray-Technik.

### **11.3.3 Entwicklung neuer Formtrennstoffe**

Ein Formtrennstoff muß dafür sorgen, daß das flüssige Metall nicht an der Formoberfläche haftet und gut fließt. Zudem muß er eine einwandfreie Trennung der Gußteile von der Form möglich machen, ohne daß negative Einflüsse auf die Qualität der Gußstücke ausgeübt werden.

Heute im Einsatz befindliche wasserlösliche Formtrennstoffe sind preislich attraktiv, umweltfreundlich und ermöglichen einen einwandfreien Guß. Das Auftragen des Formtrennstoffes bleibt jedoch zeitaufwendig. Forschungen konzentrieren sich deshalb darauf, die Formtrennstoffe dahin weiterzuentwickeln, daß eine raschere Benetzung der Formoberfläche möglich wird.

#### **11.3.3.1 Verbesserte Benetzungsfähigkeit**

Untersucht wurden Formtrennstoffe nach dem Stand der Technik und einer neuen patentierten Rezeptur auf deren Kühleffekt auf die Form. Es zeigte sich, daß bei Einsatz des neuen Produktes die Formoberfläche effektiver gekühlt wird, was zur Folge hat, daß dieses eine höhere Benetzbarkeit aufweist, die Formoberfläche rascher abgekühlt wird und der Trennfilm sich rascher bildet.

Das bedeutet in der Praxis, daß die Druckgießform einer geringeren thermischen Wechselbeanspruchung an der Oberfläche ausgesetzt ist und somit die Lebensdauer der Formeinsätzen und Schieber erwartet wird.

#### **11.3.3.2 Trenn- und Schmiereigenschaften**

Die neuen Formtrennstoffe haben Vorteile bei hohen und niederen Formtemperaturen und bei hohen wie auch bei niedrigen Trennstoffdurchsatz gegenüber herkömmlichen Trennstoffen gezeigt.

Die neuen Formtrennstoffe zeichnen sich zusätzlich dadurch aus, daß sie keine organische Rückstände in der Form hinterlassen. Sie können auch in konzentrierter Form eingesetzt werden. Auch die anfallenden trennstoffbelasteten Abwässer können mit

deutlich weniger Problemen über Flotations- bzw. Ultrafiltrationsanlagen entsorgt werden.

#### **11.3.4 Synergieeffekte**

Eine Sprühtechnik und ein neuer Formtrennstoff, welche beide für sich allein schon eine schnellere und wirksamere Benetzbarkeit der Formoberfläche ermöglichen, ergeben in Kombination Synergieeffekte.

Formtrennstoff und Auftragtechnik müssen mehr nach synergetischen Aspekten und weniger nach individuellen Aspekten entwickelt werden, um die maximale Wirkung zu erzielen.

## **12 Beispiel eines Aluminium-Druckguß-Betriebes**

### **12.1 Firma Austria-Druckguß**

Die Austria Druckguß ist ein Aluminium-Druckgußwerk mit ca. 220 Beschäftigten. Eigentümer ist das Druckgußwerk Mössner GmbH. Erzeugt werden Aluminiumdruckgußteile mit und ohne Einlegeteile bis zu einem Gesamtgewicht von 3 kg für den französischen und deutschen Markt.

Zur Zeit befinden sich 22 Druckgußmaschinen im Betrieb im Einsatz. Die meisten Maschinen werden variabel belegt, nur wenige Maschinen sind mit „Dauerläufern“, das sind Produkte, die über ein ganzes Jahr an denselben Maschinen hergestellt werden, ausgelastet.

#### **12.1.1 Produktion**

Der derzeitige Produktionsumfang beläuft sich auf 13 Tonnen pro Tag (2700 Tonnen pro Jahr).

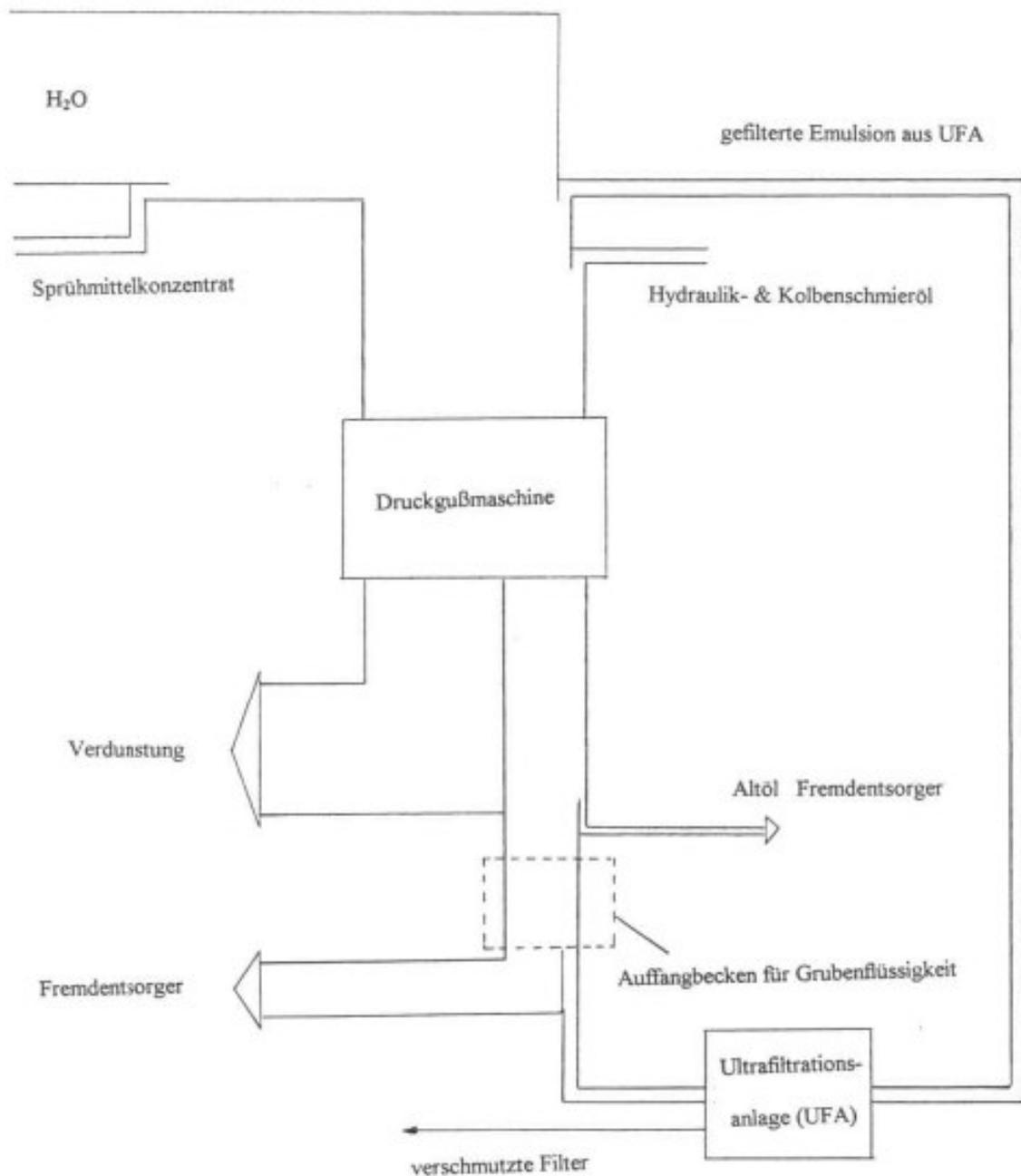
Im Werk existiert für die Formen nur die Reparatur und keine Fertigung von Modellen.

#### **12.1.2 Verfahrensablauf**

Das Aluminium wird in einem Wannenschmelzofen eingeschmolzen. Das geschmolzene Aluminium wird mit einem Stapler und einer Tiegelpfanne zu den 22 Druckgußpressen transportiert und in die jeweiligen Warmhalteöfen geleert. Durch eine automatische Schöpfvorrichtung wird das 650°C heiße Aluminium in die Füllbüchse gekippt und mit bis zu 400 bar in die Druckgießform gepreßt. Die entgrateten Gußstücke werden sandgestrahlt, dichtheitgeprüft und verpackt.

### 12.1.3 Stoffstromdiagramm

Abbildung 17: Stoffstromdiagramm



#### **12.1.4 Verfahrensbeschreibung zu Stoffstromdiagramm**

##### **1) Input-Sprühmittelzentrale**

In der Sprühmittelzentrale wird das konzentrierte Sprühmittel durch die Beimengung von Wassere auf die gewünschte Konzentration gebracht (1% Konzentrat, 99% Wasser). Von der Sprühmittelzentrale werden alle Druckgußmaschinen über eine Ringleitung mit Sprühmittel versorgt, welches dort auf die Formenoberfläche aufgesprüht wird.

##### **2) Input-Druckgußmaschine**

An der Druckgußmaschine wird Hydrauliköl (Verlust durch Leckagen) und Kolbensmiermittel beigemennt.

Die Gießkolben führen während einer Schicht (=8 Stunden) durchschnittlich 250 Wegeinheiten vorwärts und 250 Wegeinheiten rückwärts durch.

##### **3) Gruben an den Druckgußmaschinen**

Vom gesamten Maschinenpark sind derzeit 10 Maschinen mit Grube ausgestattet. Der Zweck besteht darin, die Gußteile darin abzukühlen, um im Anschluß einen sauberen Stanzschnitt zu erhalten. Bei den Maschinen ohne Grube wurden eigene Kühlbecken installiert.

Die Gruben werden täglich abgesaugt und im Anschluß mit gefilterter Grubenflüssigkeit aus der Ultrafiltrationsanlage gefüllt.

Die abgesaugte Grubenflüssigkeit (Gemisch aus Öl-Wasser-Sprühmittelkonzentrat) wird mit einem Wagen mit einem Fassungsvermögen von ca. 500 Liter abtransportiert und in ein Auffangbecken gepumpt. Je nach Güteklasse (stark bzw. leicht verschmutzt) gelangt die Flüssigkeit in eines der beiden vorhandenen Becken.

Die Ultrafiltrationsanlage entnimmt das zu filternde Medium aus dem Auffangbecken.

#### 4) Fremdentsorgung (Output)

Abholung der Grubenflüssigkeit aus dem Auffangbecken durch ein Entsorgungsunternehmen mindestens einmal pro Woche.

### **12.1.5 Eingesetzte Betriebsstoffe**

#### Formtrennmittel

Das Formtrennmittel wird in automatisierten Mischern auf 1:100 verdünnt. Es wird von einer Ringleitung mit einer Gesamtlänge von 80 Metern über Stichleitungen zu den einzelnen Druckgußmaschinen gefördert. Jede Maschine ist mit einem Spaltfilter und einem Druckregler ausgestattet um den nötigen Arbeitsdruck von 3 bar sicherzustellen.

Das Formtrennmittel wird zur Kühlung der Auswurfstäbe und zur Formbenetzung verwendet, um ein leichteres Lösen der Form nach vollständiger Erstarrung der Legierung zu ermöglichen. Die Form selbst wird durch einen eigenen Öl-Kühlkreis gekühlt. Beim Auftragen verdampft ein Teil des Formtrennmittels, ein anderer Teil gelangt in die direkt unterhalb der Form befindliche Grube (insgesamt gibt es 9 Gruben, 3 neue werden mit den neuen Maschinen errichtet), welche ein Auffangbecken für Schmier- und Hydrauliköle darstellt. Der Grubenhalt wird mit einem Absaugwagen in die Auffang- und Sammelbehälter transportiert.

Beim Wechseln von Hydraulikflüssigkeit bzw. Grubenhalt werden die Flüssigkeiten nicht immer strikt getrennt. Da es nur einen Absaugwagen gibt, wird dieser sowohl zum Absaugen des Hydrauliköles als auch zum Entfernen des Grubenhalt eingesetzt. Dadurch ergibt sich eine zusätzliche Verschmutzung des Grubenhalt und das Hydrauliköl wird durch das Wasser entsprechend verdünnt wodurch das Entsorgungsvolumen drastisch vergrößert wird. Weiters führt dies zu einer dermaßen starken Verschmutzung des Formtrennmittel, daß dieses nicht wiederverwendet werden kann.

Es stehen insgesamt 3 Sammel tanks zur Verfügung, die einerseits als Behältnis für das Permeat (300 m<sup>3</sup>, pH-Wert 4,5) aus der Ultrafiltration, weiters als Behältnis für das

Retentat aus der Ultrafiltration und als Sammelbehälter für die unbehandelten Öl-Wassergemische verwendet werden. Die Sammelbecken werden nicht belüftet wodurch auch keinerlei Geruchsbelästigung auftritt.

Die Ultrafiltrationsanlage wurde für eine Kapazität von ca. 300 Liter pro Stunde ausgelegt, bei einer angenommenen Betriebsstundendauer von 4000 Stunden pro Jahr entspricht dies einer Durchlaufmenge von 3,2 m<sup>3</sup> pro Tag. Bei der Ultrafiltration wird auch das Formtrennmittel aus der Emulsion abgetrennt. Das Permeat wird als Grubenflüssigkeit eingesetzt.

Im Jahr 1995 wurden 66500 Kilogramm Hydrauliköl eingesetzt, was einem wöchentlichen Hydraulikölbedarf von 1000-1300 Liter entspricht. Die Verunreinigungen, welche durch die wasserlöslichen Hydrauliköle im Grubenwasser entstehen sind ein wesentlicher Grund dafür, daß das Formtrennmittel nicht im Kreis geführt werden kann, da sich auf der Form bräunliche Flecken bilden, welche selbst durch Sandstrahlen nicht entfernbar sind..

Von Seiten der Firma wurden bereits Versuche durchgeführt, durch Nanofilter das Hydrauliköl aus dem Permeat zu entfernen, um so das „Wasser“ wiederverwenden zu können, aber vergebens.

Ursachen für den hohen Verlust sind zum einen die durch ausgelastete Kapazitäten bedingten Formenwechsel, zum anderen auftretende Rohrleitungsbrüche, welche den Großteil der Hydraulikölverluste ausmachen, weiters undichte Ventile und Zylinder, Verluste durch Reparaturen und durch Verschütten beim Auffüllen des Hydrauliköls.

Für die Bearbeitung der Gußstücke wird eine KSS-Bohremulsion seit einem halben Jahr verwendet. Die Konzentrateinsatzmenge macht pro Monat 180 Liter aus und wird im Verhältnis 1:10 verdünnt. Die KSS-Emulsion wird gefiltert, um Aluminiumspäne abzutrennen. Sie wird nicht gewechselt sondern wegen Austrags- und Verdunstungsverlusten lediglich aufgefüllt. Die Emulsion wird etwa 2 mal pro Jahr gereinigt.

### **12.1.6 Gefährliche Abfälle**

Für die Entsorgung der gefährlichen Abfälle besteht bis Ende 1997 ein Abnahmevertrag mit dem Entsorgungsunternehmen für die anfallende Öl-Wasseremulsion zu einem festgelegtem Preis unter folgenden Bedingungen:

- Ölgehalt maximal 10%
- pH-Wert neutral
- keine Halogene enthalten
- keine Konzentrate enthalten

Der größte Posten an gefährlichen Abfällen ist die anfallende Öl-Wasseremulsion mit einer Masse von 1.000.000 kg im Jahr 1995. Sie stieg mit der Ausweitung der Produktion beträchtlich an.

Im Abrechnungszeitraum 1995 fielen 220 t Aluminiumkrätze an, welche ölverschmutzt ist und demnächst nicht mehr nach Ranshofen geliefert werden kann, sondern entsorgt werden muß. Der Aluminiumgehalt der Aluminiumkrätze beträgt dabei rund 50% .

Die Menge an Altölen belief sich 1995 auf 69 t.

### **13 Optionen für die Reduktion der Abfallemlulsion**

Für ein Unternehmen entstehendurch anfallende Abfallemlulsionen erhebliche Kosten. Es ist notwendig diese so gering wie möglich zu halten, um konkurrenzfähig zu bleiben. Möglichkeiten für die Reduktion der Abfallemlusionsmengen sind:

- Abfallemlusionsvermeidung
- Abfallemlusionsaufbereitung
- Abfallemlusionsentsorgung

Die Reihenfolge der oben angeführten Möglichkeiten gibt die Priorität dieser Maßnahmen an.

#### **13.1 Abfallemlusionsvermeidung**

Die **Abfallemlusionsvermeidung** ist die beste Möglichkeit für den Betrieb, Kosten für die etwaige Entsorgung anfallender Emulsionen zu reduzieren.

Möglichkeiten zur Abfallemlusionsvermeidung:

- Optimale Anpassung des Sprühstrahles,
- des Sprühabstandes,
- der Sprühmittelmenge und
- der Sprühmittelkonzentration an die Druckgießform

führt zu einer Reduktion des überschüssigen Trennmittels und einer verminderten Einsatzmenge von Wasser und Trennstoffkonzentrat.

Da während des Druckgießens immer wieder Leckstellen auftreten, welche die Menge an Abfallemlusion erhöhen und zusätzlich verschmutzen, ist es notwendig, diese durch geeignete Maßnahmen so gering wie möglich zu halten:

- Höchste Sauberkeit und Sorgfalt beim Druckgießen
- Vorgeschriebene Wartungsintervalle unbedingt einhalten
- Sorgfalt und Sauberkeit auch bei Reparaturen
- nur qualitativ hochwertige Ersatzteile verwenden
- bei Hydraulikleitungen müssen Dichtungen verwendet werden, welche nicht durch das Hydraulikmedium angegriffen und zerstört werden können

Diese Maßnahmen können die austretenden Mengen deutlich reduzieren. Um die Abfallemlusion leichter aufbereiten zu können, ist es notwendig, anfallende Leckagen so weit wie möglich durch Unterstellen von Auffangbehältern getrennt zu erfassen.

**Wärmeträgeröl** kann beim Wechsel der Druckgußformen austreten, weil der geschlossene Kreislauf zwischen Heiz- und Kühlgeräten und der Form durch das Ab- und Anschließen der Leitungen zwischenzeitlich geöffnet wird. Das austretende Wärmeträgeröl kann so in den Maschinensumpf oder auf den Boden der Halle gelangen. Durch eine getrennte Erfassung kann dieses Öl auch wiederverwendet werden.

Eine Möglichkeit die Menge an austretendem Wärmeträgeröl zu verringern ist das Anbringen von Verschlüssen an den Leitungen in Form von Kappen oder Ventilen, welche beim Abschließen der Leitungen aufgesetzt werden um ein Ausfließen zu verhindern.

**Hydrauliköl** kann durch Auftreten von schleichenden Lecks austreten, was sich durch einen relativ hohen Verbrauch an Hydraulikflüssigkeit und nach längerem Maschinenstillstand durch eine hohe Hydraulikflüssigkeitsmenge in der Abfallemlusion bemerkbar macht. Solche Leckagen treten in vielen Fällen bei Dichtungen auf, die bei

etwaigen Umstellungen der Hydraulikflüssigkeiten dem neuen Medium nicht angepaßt wurden und mit diesem nicht mehr verträglich sind.

### 13.2 Abfallemlusionsaufbereitung

In größeren Betrieben ist es aus wirtschaftlichen Überlegungen sinnvoll, anfallende Emulsionen aufzubereiten. Wobei folgende Möglichkeiten bestehen:

- Eindicken der Emulsion unter Wasserabrennung
- Reinigen der Emulsion mit Rückführung

Beim **Eindicken der Emulsion** wird die Aufbereitung aus wirtschaftlichen Überlegungen im Betrieb durchgeführt und nicht bei einem Entsorgungsunternehmen. Es wird dabei die Emulsion zum größten Teil vom enthaltenen Wasser getrennt und aufkonzentriert. Die Menge an anfallendem Sonderabfall wird somit deutlich reduziert, was sich in Zeiten stark steigender Entsorgungskosten für den Betrieb in zunehmender Weise bezahlt macht.

Das abgetrennte Wasser kann einer Kläranlage zugeführt werden, wo es von organischen und im Wasser gelösten Reststoffen befreit wird, um zu einer Wasserqualität zu gelangen, die es ermöglicht in den Kanal einleiten zu können. Die Kosten für die Wasseraufbereitung sind durch den geringeren Aufwand gegenüber der Rückführung in den Betrieb zwar geringer, doch muß man die anfallenden Kanalgebühren und die kontinuierliche Abwasserqualitätsüberwachung beachten.

Eine andere Möglichkeit ist es, das gereinigte Wasser für Reinigungszwecke oder zur Toilettenspülung einzusetzen, wodurch sich die Menge an eingesetztem Frischwasser reduzieren läßt. Das Wasser muß aber dennoch über die Kanalisation entsorgt werden.

Ist eine solche Entsorgung aber nicht möglich, so bleibt als einzige Wasserverwendungsmöglichkeit, die Rückführung in den Prozeß. Das gereinigte Wasser wird wieder in den Sprühmittelkreislauf eingebracht, wobei es sich als günstiger erweist

## Optionen für die Reduktion der Abfallemlulsion

ein Zweikreissystem zu verwenden in dem das aufbereitete Wasser im Kühlkreis eingesetzt wird.

Es muß jedoch darauf hingewiesen werden, daß bei der Verwendung von gereinigtem Wasser aus Aufbereitungsanlagen welche eine schlechte Wasserqualität liefern, es zu Schwierigkeiten beim Druckgießen kommen kann, wenn die Qualität des Trennmittelgemisches nicht mehr ausreichend ist.

## **14 Zusammenfassung**

Um die großen Mengen an gefährlichen Abfällen beim Aluminiumdruckguß in den Griff zu bekommen, wurde in dieser Diplomarbeit versucht, Maßnahmen für die Reduktion dieser Abfälle zu erarbeiten. Von einer Stoffstromanalyse eines Druckgußbetriebes ausgehend wurden die jeweilig anfallenden Abfälle aus der mechanischen Fertigung und des Druckgußes selbst auf mögliche Vermeidungs- und Verringerungsoptionen hin untersucht.

Ausgangspunkt dafür stellte der Begriff der „Cleaner Production“ dar. Cleaner Production befaßt sich mit der produktionsintegrierten Abfallvermeidung und Minderung der Umweltbelastung. Der Ansatz hierfür erfolgt direkt an der Quelle mit dem Ziel, durch geeignete Maßnahmen wie Rohstoffänderung, Produktänderung, Verfahrenssubstitution und Recycling die hohen Abfallmengen einzudämmen. Diese hohen Abfallmengen fallen durch den raschen Betriebsmitteverbrauch und die nicht geschlossenen Kreisläufe an und führen in der Folge zu hohen Kosten für die benötigten Betriebsmittel selbst sowie für deren Entsorgung.

So ergibt sich als logische Schlußfolgerung für eine Abfallminimierung die vermehrte Kreislaufschließung bei Kühlschmiermittel, Formtrennmittel sowie bei verwendetem Wasser und die Optimierung der eingesetzten Mengen an Betriebsmittel.

Für die Stoffkreislaufführung ist eine der Hauptvoraussetzungen eine möglichst vollständige und getrennte Erfassung der anfallenden Stoffe in eigens dafür vorgesehenen und für die jeweilige Druckgußmaschine speziell angepassten Auffangbehältnissen. Dadurch wird der nötige Aufwand für eine Aufbereitung der zumeist als Suspensionen und Emulsionen Abfälle erleichtert und verbilligt.

Bei den Formtrennmitteln besteht die Möglichkeit der Abfallminimierung durch die Optimierung der eingesetzten Trennstoffmenge in Verbindung mit Umstieg auf neu- bzw. weiterentwickelten Produkte und der Anwendung des neuesten Standes der Technik in punkto Trennstoffauftragetechniken. Es kommen dabei spezielle Sprühköpfe zur Anwendung, welche mit deren vollautomatische Steuerung den verdünnten Trennstoff in

kürzester Zeit auf die Oberfläche aufbringen und die Formoberfläche raschestmöglich auf die nötige Temperatur zur Trennfilmbildung abkühlen. Dadurch wird neben einer reduzierten Trennstoffmenge auch eine erheblich kürzere Zykluszeit erreicht und die Standzeit der Druckgießform durch eine geringere thermische Belastung deutlich verlängert.

Die neuen Formtrennstoffe hinterlassen keinerlei organische Rückstände in der Form und können in konzentrierter Form eingesetzt werden. Trennstoffbelastete Abwässer können mit geringeren Problemen über Flotations- bzw. Ultrafiltrationsanlagen entsorgt werden.

Trotz des immer an erster Stelle stehenden Vermeidungs- und Minimierungsgebotes ergeben sich während des Arbeitsprozesses beim Druckgießen anfallende Gase und Dämpfe, welche abgeführt und gereinigt werden müssen. Dies kann entweder durch Einsatz einer Abzugshaube oder durch eine Luftschleier-Absauganlage erfolgen. Absaughauben verfügen bei gleicher Absaugleistung einen höheren Erfassungswirkungsgrad als Luftschleierabsaugungen, die 15-20% günstigere Investitionskosten bei 25-30% höheren Energiekosten besitzen. Die abgesaugten Dämpfe werden in nachgeschalteten zentralen oder dezentralen Filteranlagen gereinigt.

Abwässer beim Aluminiumdruckguß setzen sich aus Öl oder emulgierten bzw. gelösten Bestandteilen, Bioziden, Tensiden, Wachsen, Polymeren, Aldehyden, Glykolen und Silikonen zusammen.

Mit Formtrennstoff angereichertes Abwasser ist wiederverwendbar, wenn die nötige Reinheit der Formtrennmittel und des zur Verdünnung eingesetzten Wassers, insbesondere bei Bakterienbelastung, gewährleistet ist. Der in einer Aufbereitungsanlage rezirkulierte Formtrennstoff kann nicht unbegrenzt wiederverwendet werden, da die enthaltenen Wirkstoffe durch Sauerstoff- und Temperatureinwirkung beeinträchtigt werden. Deshalb erweist es sich von Vorteil einen Teil des Formtrennstoffes aufzubereiten und den Rest derart zu reinigen, daß er die Trenn- und Schmiereigenschaften gegenüber einer frisch angesetzten Emulsion nicht beeinträchtigt.

Probleme bei der Wiederverwendung von aufbereitetem Abwasser oder gereinigter Emulsion ergeben sich zum einen, daß nicht alle Verunreinigungen entfernt werden

können, zum anderen können sich durch die biologische Abbaubarkeit der Trennmittel in zu großen Mengen gebildete Bakterien negativ auf das Gußstück auswirken.

Gelöste Stoffe können oft nur durch aufwendige Verfahren, wie Umkehrosmose, mehrstufige Destillation, Vakuumverdampfung und Nanofiltration entfernt werden. Diese Verfahren zeigen sich jedoch wegen ihren hohen Investitions- und Betriebskosten als nicht gerade wirtschaftlich.

Gereinigtes Abwasser kann wieder zur Verdünnung von konzentriertem Formtrennmittel verwendet werden. Es kann jedoch nötig werden, dieses in Form eines zweiten Sprühkreises (Kühlkreislauf) einzusetzen, da etwaige Spuren von nicht beseitigten Verunreinigungen sich negativ auf die Druckgußteile auswirken können.

Eine Abfallemlionsaufbereitung minimiert die Menge an zu entsorgenden Abfällen und wirkt so den immer weiter steigenden Entsorgungskosten entgegen, wodurch sich der entstandene finanzielle Mehraufwand schon in relativ kurzer Zeit rechnen kann.

Durch den Einsatz von Trockenschmiermitteln auf Wachsbasis für Gießkammer und -kolben ist zu erwähnen, daß kein Altöl und durch Schmieröl verunreinigtes Abwasser mehr anfällt, wie dies der Fall bei herkömmlicher Schmierung ist. Die Maschienen werden auch nicht mehr in diesem Maße verschmutzt. Die dadurch um bis zu 20% höhere Schußgeschwindigkeit steigert zudem die Produktivität. Auch sind positive Auswirkungen für die Beschaffenheit der Gußstücke zu erwarten. Die eingesetzte Trockenschmiermenge beträgt dazu nur bis zu einem sechstel der herkömmlichen Schmiermittelmenge, wodurch neben finanziellen Einsparungen die Gußstücke auch noch frei von Ölverunreinigungen gehalten werden können.

Neben den beim Druckgießen durch Betriebsstoffe anfallenden Abfällen kommen noch jene Abfälle welche durch den Einsatz von Kühlschmierstoffen bei der anschließenden Bearbeitung durch Drehen, Bohren, Fräsen und Gewinden anfallen hinzu. Dabei ist es unter Umständen möglich auf den Einsatz von Kühlschmierstoffen ganz oder zumindest teilweise zu verzichten. Durch speziell abgestimmte Bearbeitungsverfahren mit speziellen Schneiden mit angepasster Form sowie abgeänderter Materialzusammensetzungen und einer geänderten Bearbeitungsgeschwindigkeit ist dieses erreichbar. Nach gewählter

Zerspanungsaufgabe und erforderlicher Bauteilqualität läßt sich durch eine solche Reduzierung der Kühlschmierstoffmenge neben einer Kostenreduzierung bei der Beschaffung von Kühlschmierstoffen auch noch die anfallende Abfallmulsionsmenge stark reduzieren und ein Beitrag zur Verbesserung der Arbeitsplatzhygiene wird erreicht.

Wenn eine reine Trockenbearbeitung noch nicht realisierbar ist, besteht noch die Möglichkeit durch Minimalmengen Kühlschmierung im Idealfall eine Verbrauchsschmierung zu erreichen, bei der das Werkstück und die auftretenden Späne nach der Bearbeitung trocken anfallen und so einer Recyclierung ihrerseits zugeführt werden können.

Eine weitere Maßnahme zur Verringerung der Abfallmulsionsmenge ist die getrennte Sammlung der unterschiedlichen Leckagen, wodurch gewährleistet werden soll, daß anfallendes Wärmeträgeröl, Hydrauliköl und überschüssiges Formtrennmittel nicht vermischt werden und eine spätere Behandlung dadurch erschwert wird. Dies geschieht durch für die jeweiligen Maschinen speziell angefertigte Auffangbehälter und durch das Anbringen von Verschlüssen an den Zuleitungen der Druckgießform in Form von Kappen und Ventilen.

Durch regelmäßige Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten an den Druckgußmaschinen und deren Zuleitungen kann man schleichenden Leckagen an Hydraulikflüssigkeiten so gering wie möglich halten. Weiters fallen in der Regel lange und dadurch unproduktive Maschinenstillstandszeiten infolge auftretender Schäden an den Maschinenseltener an. Bei den verwendeten Dichtungen sollte unbedingt darauf geachtet werden, daß nur solche Dichtungen verwendet werden, die mit den neuen, schwer entflammaren Hydraulikflüssigkeiten verträglich sind und diese nicht zersetzen.

Gründliches und regelmäßiges Reinigen der Maschinen und der Druckgießhalle trägt nicht nur dem Arbeitsschutz Rechnung, sondern erleichtert auch das frühzeitige Erkennen von schleichenden Leckagen.

Abschließend sei erwähnt, daß als Grundvoraussetzung für die Erreichung einer effizienten Abfallreduktion der Einsatz von ökologiebezogenen Planungsinstrumenten, wie Produktlinienanalysen, Stoffstromanalysen, Umwelt-Audits und Öko-Controlling

anzusehen ist. Denn nur durch konsequenten Einsatz des Umweltmanagements wird eine systematische Umsetzung von umweltbezogenen Zielen zusammen mit betriebswissenschaftlichen Steigerungspotentialen ermöglicht.

## Abbildungsverzeichnis

- Bild 1: Formfüllung nach Frommer [2]
- Bild 2: Formfüllung nach Brandt [2]
- Bild 3: Gußfehler mit ihren Fehlerquellen [3]
- Bild 4: Abgraten in der Druckgießform [4]
- Bild 5: Cleaner Produktion [6]
- Bild 6: Investitionskosten einer umwelttechnischen Maßnahme in Abhängigkeit ihres technischen Wirkungsgrades [7]
- Bild 7: Nutzen des Umweltmanagements [9]
- Bild 8: Luftschleierabsaugung [10]
- Bild 9: Schemazeichnung VDN- TAS System Keller Lufttechnik [11]
- Bild 10: Beispiel Entstaubungsanlage [11]
- Bild 11: Wirkungsweise Ultrafiltration [12]
- Bild 12: Ablaufschema Flotationsanlage mit Ölabscheider [13]
- Bild 13: Zugabemengen Trockenschmiermittel in Abhängigkeit des Gießgewichts [14]
- Bild 14: Eignung der Fertigungsverfahren zur Trockenbearbeitung [15]
- Bild 15: Einsatzfälle für Minimalmengenkühlschmierung [16]
- Bild 16: Sprühkopf [17]
- Bild 17: Stoffstromdiagramm Austria Druckguß

**Literaturverzeichnis:**

- [1]: Kopf, J.: Gießerei 57 (1970) 20, S.633-641
- [2]: Brunhuber, E.: Praxis der Druckgußfertigung. Berlin: Schiele & Schön (1991)
- [3]: Allchin, T.: Die Casting Engineer 32 (1988) 5, S. 34, 36, 38
- [4]: Brunhuber, E.: Praxis der Druckgußfertigung. Berlin: Schiele & Schöne (1991)
- [5]: Bronder, M.: Technischer Umweltschutz. Heidelberg; Berlin; Oxford: Spektrum, Akad. Verl. (1996)
- [6] Arthur D. Little:
- [7]: Bronder, M.: Technischer Umweltschutz. Heidelberg; Berlin; Oxford: Spektrum, Akad. Verl. (1996) S. 208 f
- [8]: Giesserei 82, (1995), Nr. 5, S.153-159
- [9]: Giesserei 82, (1995), Nr. 24, S. 920
- [10]: Giesserei 82,(1995), Nr. 23, S. 872
- [11]: Präsentationsunterlagen der Firma Keller Lufttechnik: 902 Produktbereich  
Abscheidetechnik
- [12]: Präsentationsunterlagen der Firma Acheson
- [13]: Pressemitteilung der Firma AWAS GmbH Bayern
- [14]: Technisches Datenblatt SHOTBEADS; Lieferant Gasser GmbH, Wien
- [15]: Forschungsbericht von Daimler Benz zum Thema: Trockenzerspannung
- [16]: mav 4, (1996) S. 46
- [17]: Giesserei 81, (1994), Nr.21, S. 771