

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis von Bildern, Zeichnungen, Grafiken und Tabellen	02
Verzeichnis der Tafeln	03
Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen	04
1.0 Zusammenfassung	05
2.0 Einleitung	06
3.0 Hauptteil	09
3.1 Darstellung der einzelnen Arbeitsschritte, der angewandten Methoden und der tatsächlich erzielten Ergebnisse	09
3.1.1 Darstellung der einzelnen Arbeitsschritte	09
3.1.2 Darstellung der angewandten Methoden	12
3.1.3 Darstellung der tatsächlich erzielten Ergebnisse.....	20
3.2 Diskussion der Ergebnisse	26
3.3 Ausführliche ökologische, technologische und ökonomische Bewertung der Vorhabensergebnisse	31
3.3.1 Ökologische Bewertung.....	31
3.3.2 technologische Betrachtung	32
3.3.2 ökonomische Betrachtung	33
3.4 Darlegung der Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse.....	34
4.0 Fazit.....	34
5.0 Literaturverzeichnis.....	35

Verzeichnis der Bilder, Zeichnungen und Grafiken

Abbildg.1	Seite 07	= Rückseite einer BÖWE-Reinigungsmaschine
Abbildg. 2	Seite 08	= Kreislauf des Lösemittels
Abbildg. 3	Seite 08	= Trocknungskreislauf
Abbildg. 4	Seite 09	= Vorreinigen im Pumpenkreislauf
Abbildg. 5	Seite 09	= Schleudern und Destillieren
Abbildg. 6	Seite 09	= Endreinigung und Filtern
Abbildg. 7	Seite 10	= gebräuchliches Filter für das Reinigungsmedium
Abbildg. 8	Seite 12	= Prinzip der neuartigen Destilliereinrichtung
Abbildg. 9	Seite 13	= Prinzip des neuen Filters
Abbildg.10	Seite 17	= Rohrstücke 3 Zoll Ø und 2 mm Wandstärke für sechseckige
Abbildg.11	Seite 18	= Erste Ausführung des Destillationswendels
Abbildg.12	Seite 19	= Dampfkessel zur Beheizung der Destillationswendel
Abbildg.13	Seite 20	= Dampfkessel mit eingebauter Destillationswendel
Abbildg.14	Seite 20	= Dampfkessel, Blick auf die Druck- und Temperaturmess-
Abbildg.15	Seite 21	= Praktische Ausführung des neuen Filters
Abbildg.16	Seite 22	= Zentrale Zuführung von Heißluft zum Trocknen des Filtermedi-
Abbildg.17	Seite 23	= Pneumatisch betätigter Schieber aus Edelstahl
Abbildg.18	Seite 23	= Tankgruppe für Destillationsversuche
Abbildg.19	Seite 24	= airTOX-Gas-Photometer der Firma Fresenius Umwelttechnik

Verzeichnis der Tafeln

Tafel 1	Seite 06	= Quellvermögen der gebräuchlichsten Textilfasern
---------	----------	---

Tafel 2	Seite 12	= Wärmeübergangskoeffizienten α von Wasser
---------	----------	---

Tafel 3	Seite 22	= Erzielte Ergebnisse im Vergleich mit konventioneller Aufbereitung der LM
---------	----------	--

Tafel 4	Seite 24	= Technische Daten einer Reinigungsmaschine
---------	----------	---

Tafel 5	Seite 24	= Berechnung der jährlichen Energieeinsparung durch die neue Destilliereinrichtung bei einer Reinigungsmaschine nach Tafel 4
---------	----------	--

Tafel 6	Seite 25	= Berechnung der möglichen Energie- und CO ₂ -Einsparung in Deutschland
---------	----------	--

Tafel 7	Seite 26	= Berechnung der jährlichen Kostenreduzierung je Reinigungsmaschine (Spalte 2) und hochgerechnet für sämtliche Maschinen in Deutschland (Spalte 3)
---------	----------	--

Tafel 8	Seite 26	=
---------	----------	---

Tafel 9	Seite 27	=
---------	----------	---

Tafel 10	Seite 27	=
----------	----------	---

Tafel 11	Seite 28	=
----------	----------	---

Tafel 12	Seite 28	=
----------	----------	---

Tafel 13	Seite 28	=
----------	----------	---

Tafel 14	Seite 32	=
----------	----------	---

Tafel 15	Seite 35	=
----------	----------	---

Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen

α	=	Wärmeübergangskoeffizienten von Wasser
€/a	=	Kosten pro Jahr
€/kWh	=	Kosten je Kilowattstunde
AS	=	Arbeitsschritt
AZ	=	Aktenzeichen
bar	=	Druckeinheit = 10^5 Newton/m ²
BimSchV	=	Bundesimmissionsschutz-Verordnung
cm ²	=	Flächenmaß
CO ₂	=	Kohlendioxid
COCl ₃	=	Carboxylchlorid
Cu	=	Kupfer
DBU	=	Deutsche Bundesstiftung Umwelt in 49090 Osnabrück
g/cm ³	=	Luftbelastung in Reinigungsmaschinen in Gramm je Kubik-
g/l	=	Schmutzbelastung des LM
GWh/a	=	Gigawattstunden pro Jahr
h	=	Stunde
HCl	=	Chlorwasserstoff
kg	=	Kilogramm
kW	=	Kilowatt
kWh	=	Kilowattstunde
kWh/a	=	Kilowattstunden pro Jahr
kWh/l	=	erforderliche Energie zum Destillieren von 1 l Lösemittel
l/h	=	Liter/Stunde als Maß für einen Durchfluss
LM	=	Lösemittel
Ø	=	Durchmesser
PA	=	Polyamid
PEs	=	Polyester als Gruppenbezeichnung
ppm	=	parts per million (Mischungsverhältnis, hier Luft – Per-Gas)
PTFE	=	Polytetrafluorethylen
RAL	=	Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung
t/a	=	Tonnen pro Jahr
U/min	=	Umdrehungen pro Minute
W/m ² K	=	Einheit des Wärmeübergangskoeffizienten α
Z1.2 bis Z3	=	Zuordnungskriterien für Ablagerung von Altmaterial auf De-

"Entwicklung Energie sparender Verfahren zur Regenerierung der Lösemittel in Reinigungsmaschinen"

1.0 Zusammenfassung

In Deutschland sind derzeit etwa 4500 Reinigungsmaschinen in Gebrauch, in denen mit Lösemitteln (abgekürzt "LM") gereinigt wird. Gebräuchliche LM sind vor allem Tetrachlorethen C_2Cl_4 (= Per, früher als Perchlorethylen bezeichnet) sowie verschiedene Kohlenwasserstoffe (KWL), wie n-Undekan, Isopar H, Shellsol T und Actrel Dry Clean 56.

Das LM muss nach jedem Einsatz vom aufgenommenen Schmutz gereinigt werden. Dazu wird es gefiltert und ausdestilliert. Das Filtrat, ist LM-haltig und damit als Sondermüll umweltbelastend. Die Destillation wird in der Destillationsblase direkt mittels elektrischer Energie oder indirekt über eine Dampfheizung durchgeführt. Durch die Belastung des LM mit Ölen und Fetten aus dem Reinigungsgut erhöht sich die Destillationstemperatur allmählich. Zusätzlich wirken die absinkenden Schmutzpartikel wärmeisolierend gegenüber der Energiequelle. Dadurch steigt der Energieverbrauch weiter. Als Folge wird die zulässige Höchsttemperatur des LM überschritten. Das ist besonders bei Per äußerst schädlich, denn es wird gespalten. Es bilden sich Chlorwasserstoff, Phosgen und Salzsäure, die ungeschützte Maschinenteile angreift [02].

Ziel des Entwicklungsvorhabens war die Entwicklung einer neuartigen Destilliervorrichtung, um die Heizleistung um etwa 1/3 der heute benötigten Energie zu reduzieren und die optimalen Temperaturen für die Destillation strikt einzuhalten, um die Zersetzung des LM mit Bildung der genannten Schadstoffe zu vermeiden. Zur Realisierung wurde die übliche Destillierwanne durch eine beheizte Rohrwendel ersetzt, in der eine kontinuierliche Verdampfung des LM erfolgt. Der LM-Dampf tritt an verschiedenen Stellen der Wendel aus und steigt hoch bis er im Kondensator verflüssigt wird. Der abgetrennte Schmutz tropft ab und wird durch eine separate Leitung abgeführt. Zusätzlich wurde das LM-Filter dadurch verbessert, dass anstelle der üblichen Scheibenfilter, von denen der mit Per belastete Filterkuchen von Zeit zu Zeit abgeschleudert wird, ein Tuchfilter verwendet wird, durch dessen spezielle Ausführung der Filterbelag ohne Belastung mit LM mechanisch entfernt und als Hausmüll gelagert werden kann. Die erzielten Vorteile des Entwicklungsvorhabens sind

- geringerer Energieverbrauch,
- Reduzierung des Sondermülls durch Per-haltiges Filtrat um 95%,
- keine Korrosion an den Maschinen durch Spaltprodukte.

Die neuen Komponenten wurden als Module entwickelt, die zur Umrüstung von in Gebrauch befindlichen Reinigungsmaschinen vorbereitet sind. Außerdem wird die Zusammenarbeit mit Maschinenherstellern gesucht, um die neuen Module auch bei der Erstausrüstung einzusetzen.

Kooperationspartner war Herr Walter Jost, 73732 Esslingen, Inhaber einer Chemischen Reinigung. Er war lange Jahre als Sachverständiger tätig und ist Erfinder

und Inhaber der Patentschrift "Destillationsvorrichtung DE 3818844 C1", die dem Entwicklungsvorhaben zugrunde lag.

Das FuE-Projekt wurde durch die **Deutsche Bundesstiftung Umwelt** (DBU) unter dem **AZ 23455-22/2** gefördert.

2.0 Einleitung

2.1 Ausgangssituation, Stand der Technik

Das Waschen und Reinigen von Textilien sind grundsätzlich Recyclingprozesse. Textilien werden mit Wasser gewaschen, aber mit Lösemitteln gereinigt. Letzteres wird auch als "Chemische Reinigung" bezeichnet, obwohl die Reinigung mit LM ein physikalischer Vorgang ist. Gebräuchlichstes LM ist Tetrachlorethen C_2Cl_4 (= Per, früher als Perchlorethylen bezeichnet), außerdem werden verschiedene Kohlenwasserstoffe (KWL), wie n-Undekan, Isopar H, Shellsol T und Actrel Dry Clean 56 eingesetzt. Ein entscheidender Vorteil der Reinigung gegenüber dem Waschen liegt in der faserschonenden Arbeitsweise, da viele Fasern bei der Behandlung mit Wasser aufquellen. Viele Textilien, insbesondere wenn unterschiedliche Stoffarten verarbeitet wurden, wie z. B. Herrenanzüge, Damenkostüme oder Mäntel, lassen sich deshalb nur bedingt mit Wasser oder wässrigen Lösungen waschen, da sie sich hierbei verformen oder ihre Farbe verlieren können. Das Quellvermögen wichtiger Textilfasern in Wasser ist sehr beachtlich, wie die folgende Tafel zeigt:

Fasermaterial	max. Querschnittszunahme
Viskose	115 %
Baumwolle	43 %
Wolle	39 %
Seide	31 %
Polyamid	11 %
Polyacrylnitril	9 %
Polyester	0 %

Tafel 1: Quellvermögen der gebräuchlichsten Textilfasern in Wasser [04]

Der Quellvorgang wird durch höhere Waschttemperaturen und die mechanische Behandlung noch gefördert. Aus ähnlichen Gründen wird die Chemische Reinigung bevorzugt im industriellen Bereich (Textilveredlungsbetriebe) eingesetzt zu folgenden Zwecken:

- a) Reinigung von Rohware, z.B. von Elastanmischungen, da konventionelles Waschen im Fall von Silikonpräparationen oft unzureichend ist,
 - b) Nachbehandlung von Wolle/Elastan- oder Wolle/PEs-Waren zur Verbesserung der Farbechtheit insbesondere bei dunklen Farben,
 - c) Qualitätskorrekturen (Entfernung von Flecken),
 - d) Entfettung von Fellen für die Pelzindustrie, besonders in China.
- (Punkte a) bis c) siehe [07]

Ein weiterer Vorteil der Behandlung mit LM besteht darin, dass der gelöste Schmutz zum großen Teil im Destillierbehälter zentral anfällt. Von dort kann das Konzentrat entfernt und als Sondermüll entsorgt werden. Bei der Nasswäsche entstehen hingegen erhebliche Mengen an belastetem Abwasser, die in den Kläranlagen gereinigt werden müssen.

In Deutschland gibt es nach dem Stand des Jahres 2007 etwa 3 800 Reinigungsbetriebe, die über 4 500 Textilreinigungsmaschinen betreiben. Da diese Reinigungsmaschinen meldepflichtig sind, ist deren Anzahl und Größe genau bekannt. Die Kapazität der Maschinen liegt zwischen 10 und 100 kg Reinigungsgut, im Durchschnitt etwa bei 20 kg je Füllung. Trotz verschärfter Vorschriften und dadurch verteuerten Maschinen werden die meisten nach wie vor mit Per-Ausrüstung eingesetzt, da der Reinigungseffekt besser ist und die Reinigung textilschonender und schneller abläuft.

Textilreinigungsanlagen sind rel. komplexe Maschinen, wovon die folgende Abbildung einen Eindruck vermittelt. Neben dem eigentlichen Reinigungsapparat enthalten sie Filter zur Schmutzseparierung, Destillieranlagen zur Regeneration und Kühleinrichtungen zur Rückkühlung des LM, emissionsfreie Destillationsentsorgung, Lösemittelgas-Konzentrationsmessgeräte verbunden mit Absaugungen und Aktivkohlefiltern (LM-Adsorptionsanlage im geschlossenen System) mit automatischer Desorption mittels Wasserdampf. Damit erfüllen die Anlagen die Vorschriften über die zulässigen Emissionen nach der 2.BimSchV.

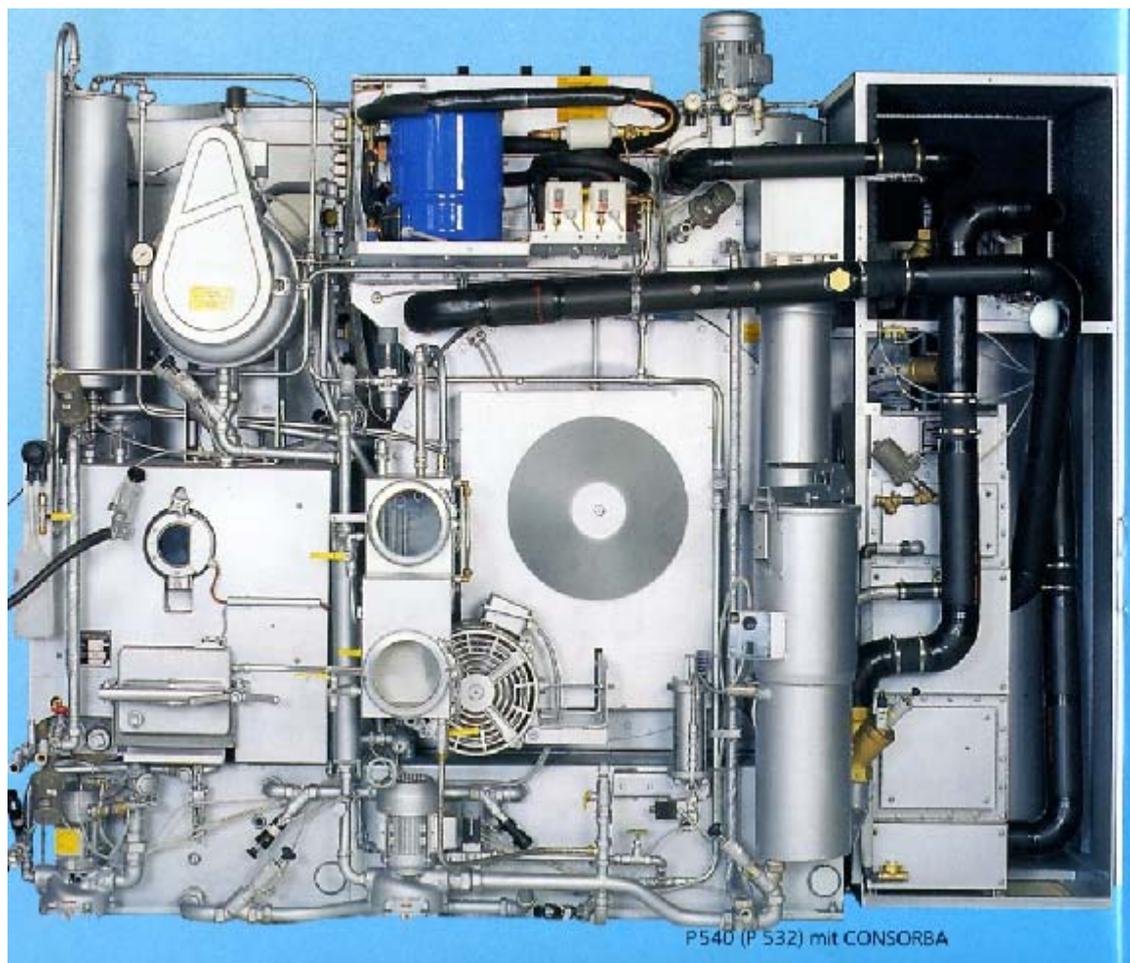


Abbildung 1: Rückseite einer BÖWE-Reinigungsmaschine Typ P540 mit Aktivkohle-Filter Consorba; Füllmenge 20 kg Reinigungsgut

Prinzipiell läuft die Reinigung nach folgenden Schemata ab

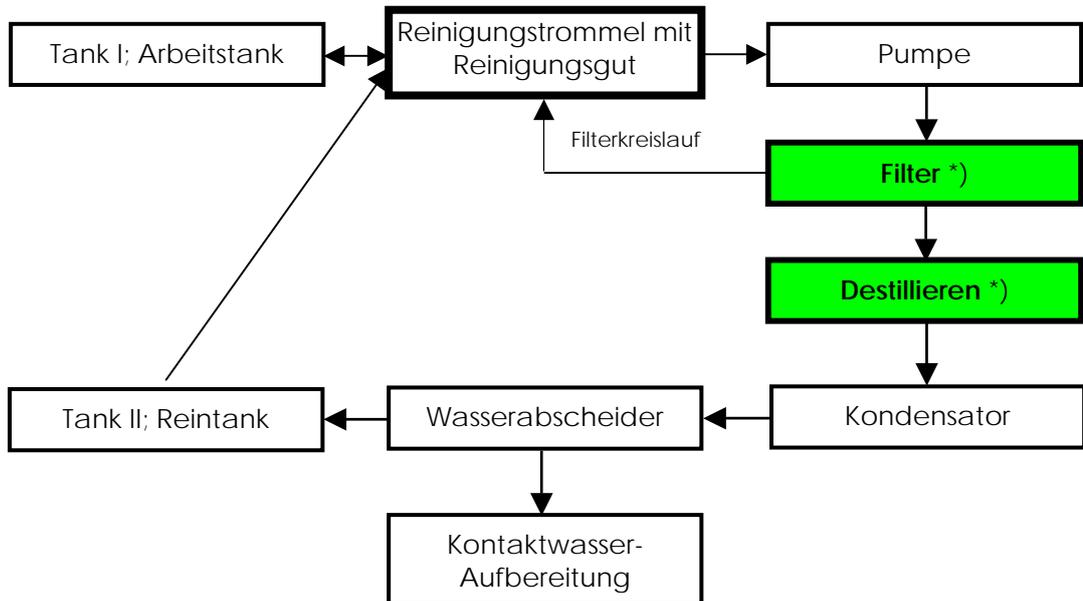


Abbildung 2: Kreislauf des LM

*) Die Verbesserung dieser Komponenten war Ziel des Entwicklungsvorhabens

Nach dem Beladen wird der automatische Ablauf gestartet. Zunächst wird von Tank 1 LM in die Trommel gepumpt, bis ein niedriges Niveau erreicht wird. Die Ware wird relativ kurz vorgereinigt. Das LM wird anschließend zum Destillierbehälter abgepumpt. Das Reinigungsgut wird dann geschleudert. Gleichzeitig wird das LM im Destillierbehälter verdampft, der LM-Dampf wird im Kondensator verflüssigt. Im Wasserabscheider wird das Wasser vom LM aufgrund der unterschiedlichen Dichten abgetrennt. Das gereinigte LM gelangt in den Tank II (Reintank). Danach wird erneut LM zuerst aus Tank II, sofern dies nicht ausreicht auch zusätzlich aus Tank I, in die Trommel gepumpt, jetzt aber bis zu einem hohen Niveau. Die Ware wird erneut gereinigt. Während dessen wird das LM im Filterkreislauf umgepumpt. Am Ende der Reinigungsphase wird es in den Tank I abgepumpt. Das Reinigungsgut wird dann geschleudert.

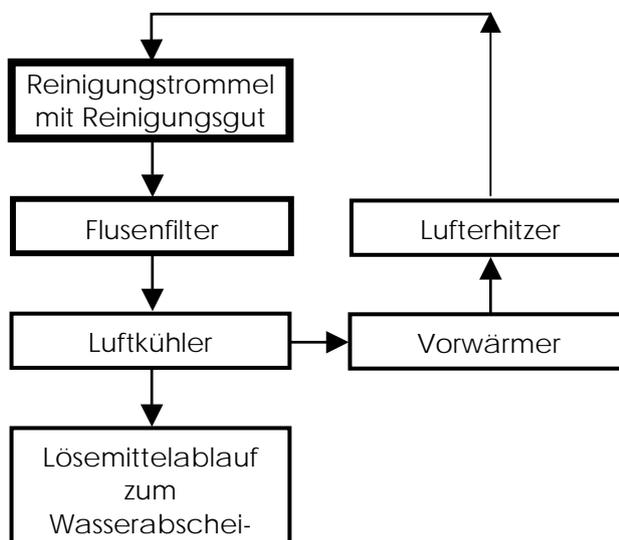


Abbildung 3:
Trocknungskreislauf

Anschließend folgt die Trocknung im Kreislauf Ware – Flusenfilter – Luftkühler – Vorwärmer – Luftherhitzer. Im Anschluss an die Trocknung folgt noch die sogenannte Reduktionszeit, während der die restliche LM-Konzentration im Reinigungsgut abgebaut wird. Das beschriebene Reinigungsverfahren kann durch zahlreiche Reinigungsprogramme an das spezielle Reinigungsgut angepasst werden. Das Reinigungsverfahren ist in den nächsten Abbildungen nochmals anschaulich dargestellt:

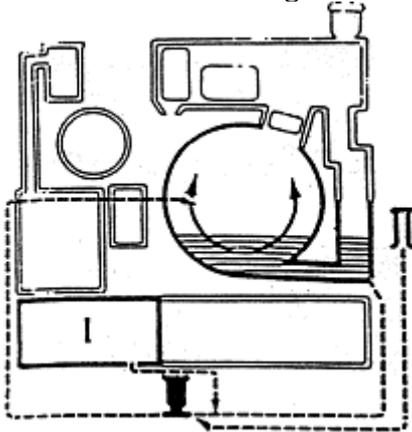


Abbildung 4: Vorreinigen im Pumpenkreislauf

Phase I: Nach dem Beladen wird der automatische Ablauf gestartet. LM von Tank I, dem Arbeitstank, wird von der LM-Pumpe in die Trommel gepumpt, bis der vorgegebene Flottenstand (niedriges Niveau) erreicht ist

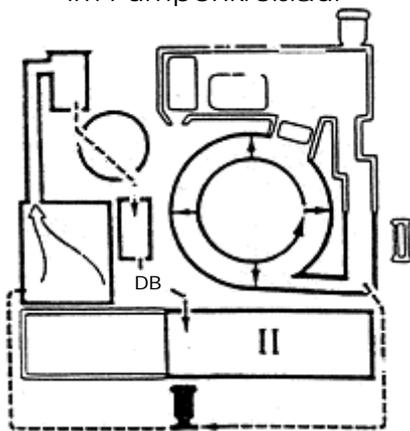
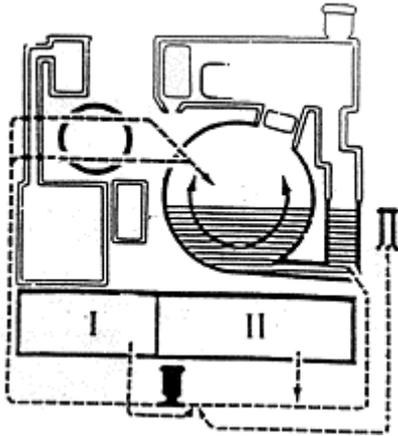


Abbildung 5: Schleudern und Destillieren (DB = Destillierbehälter)

Phase II: Das LM wird in den Destillierbehälter DB gepumpt; wo es verdampft und im Kondensator abgekühlt wird. Das anfallende Wasser wird im Wasserabscheider abgetrennt und einer Aufbereitungsanlage für Kontaktwasser zugeführt. Das destillierte LM gelangt in den Reintank II.



Phase III: Danach wird aus dem Tank I erneut solange LM in die Trommel gepumpt, bis das hohe Niveau erreicht ist. Fehlendes LM wird automatisch aus Tank II ergänzt. Dann wird die Ware im Filterkreislauf gereinigt. Reinigungsverstärker wird automatisch über ein Dosiergerät zugegeben. Das LM wird zum Tank I zurückgepumpt und das Reinigungsgut wird geschleudert.

Abbildung 6: Endreini-

vgung

und Filtern

Destillierwanne über -phase mit einem Inhalt von mehreren hundert Litern benutzt. Nach Einlauf des gebrauchten LM, das zunächst mit der eingeschleppten Feuchtigkeit ein azeotropes¹⁾ Gemisch bildet, setzen sich am Boden Schmutzstoffe ab, die die Wanne allmählich gegen die Heizung thermisch isolieren. Dies ist ein relevanter Grund dafür, dass die erforderliche Heizleistung je nach Verschmutzungsgrad insbesondere gegen Ende des Destilliervorganges stark ansteigt. Die Temperatur am Wannenboden und die in Kontakt mit der Wanne stehenden Lösemittelanteile übersteigen dadurch die kritische Temperatur von 150°C. Die temperaturbedingte Umwälzung des LM verstärkt sich mit der Folge, dass allmählich immer größere Anteile des LM zersetzt werden. Die Konsequenzen sind bei älteren Reinigungsanlagen unschwer an den von der Salzsäure angeätzten Metallpartien zu erkennen. Das Phosgen haftet an den Schmutzpartikeln, kann sich aber auch auf dem Reinigungsgut niederschlagen. Um diesen temperaturerhöhenden Effekt durch die Schmutzpartikel zu mindern, werden Destillierapparate angeboten, die den Destillierbehälter nach jeder Destillation spülen. [05] [06]

1) ein Flüssigkeitsgemisch aus min. zwei Komponenten, das einen bestimmten, konstanten Siedepunkt besitzt, ist azeotrop

Zur Destillation von 9,6 l Per pro Stunde wird eine Leistung von 2 kW (entspr. einer Energie von 0,208 kWh je Liter) benötigt. Die beschriebenen Tanks haben schon bei Maschinen für 10 kg Reinigungsgut Behältergrößen von 95 l für Tank I, 200 l für Tank II und 120 l für den Destillierbehälter. Der Destillierdurchsatz beträgt 50 l/h wofür eine elektrische Leistung von 10 kW benötigt wird. Die entsprechenden Werte für eine 20 kg-Maschine lauten: Tank I: 175 l; Tank II: 240 l; Destillierbehälter: 310 l; Destillierdurchsatz: 150 l/h; elektr. Leistung: 30 kW. Die Destillierbehälter werden entweder elektrisch oder mit Wasserdampf beheizt.

(Die Werte sind einem Prospekt der Firma BÖWE GmbH/Augsburg, Maschinentypen P520 und P540, entnommen)

Aus dieser Beschreibung wird ersichtlich, dass der Energiebedarf der Reinigungsmaschinen in erster Linie durch die fortwährende Destillation des LM bestimmt wird.

Stand der Technik bei den Filtern ist derzeit die vom Hersteller als "Ökofilter" bezeichnete Ausführung nach Abbildung 7.

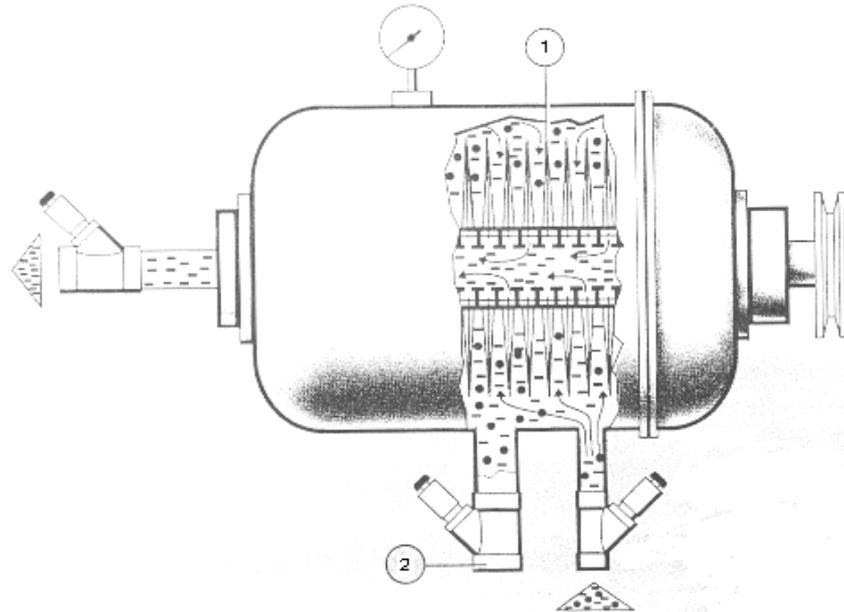


Abbildung 7: gebräuchliches Filter für das Reinigungsmedium ("Öko-Filter")

(nach Unterlagen der Firma BÖWE Passat Reinigungs- und Wäschereitechnik GmbH)

- 1 = Filterscheiben aus PA
2 = Ablassventil

Das Öko-Filter nach Abbildung 7 ist ein Schleuderfilter. Kreisförmige Filterscheiben sind auf einer Hohlwelle aufgereiht, durch die das gefilterte LM abfließt. Zur Filterreinigung, abhängig vom Druckabfall im Filter, wird der Scheibenbelag durch Rotation abgeschleudert und in die Destillationsblase abgelassen, was die thermische Isolierwirkung verstärkt.

2.2 Projektziel

Die im Projekt zu lösenden Umweltprobleme bei Reinigungsmaschinen wurden in folgenden Punkten gesehen:

- hoher Energieverbrauch zur laufenden Destillation des verunreinigten LM aufgrund der derzeit gebräuchlichen Ausführung der Destillationseinrichtung,
- die max. zulässige Temperatur von Per (150°C) wird bei der Destillation überschritten. Dadurch entsteht u. a. Salzsäure, die zu starker Korrosion an den Maschinen führt und damit ihre an sich hohe Lebensdauer erheblich einschränkt,
- die ausgefilterten Stoffe (Fasern, Schmutz und dergleichen) bilden einen Filterbelag, der bei der Entfernung noch mit LM belastet ist. Das Material muss als Sondermüll mit hohem Energieeinsatz regeneriert und das Lösemittel zurück gewonnen bzw. verbrannt werden [01].

Projektziel war deshalb die Entwicklung einer neuartigen Destillationsvorrichtung, bei der die mitgeführten Inhaltsstoffe des LM fortlaufend ausgeschieden werden, so dass die nachteiligen Effekte der Wärmeisolation und der Siedepunkterhöhung nicht auftreten. Zusätzlich sollte der Wärmeübergang von der Heizung auf das LM wesentlich verbessert werden, so dass der Destillationsvor-

gang deutlich unter der Maximaltemperatur von 150°C abläuft. Insgesamt sollte eine Reduzierung der zu Destillation erforderlichen Energie um 30% erreicht werden.

Ein weiteres Projektziel war die Verbesserung des Filters um die Belastung des LM durch Schmutz deutlich zu verringern. Ferner sollte der Filterkuchen dieses neuen Filters lösemittelfrei entnommen und als Hausmüll entsorgt werden können, um weiteren Energiebedarf zur Aufarbeitung zu vermeiden. Dadurch sollte auch die Rückübertragung von Schmutzpartikeln und dem anhaftenden Lösemittel auf das Reinigungsgut unterbunden werden. Diese Rate liegt nach [07] derzeit zwischen 0,09 und 1,65 g Per je kg Textilien.

Im Vorhaben sollten also die Prozess-Schritte "Destillation" und "Filterung" aus umwelttechnischer Sicht nachhaltig verbessert werden, während der Reinigungsprozess an sich unverändert blieb.

3.0 Hauptteil

Die angeführten Projektziele wurden dadurch erreicht, dass die Destillierwanne durch eine Destillierwendel ersetzt wurde, in der das LM kontinuierlich verdampft. Die dadurch erzielte Energieeinsparung ergibt sich aus der Tatsache, dass der Wärmeübergangskoeffizient α von der Flüssigkeitswandung zur Flüssigkeit sehr stark von Geschwindigkeit und Temperatur dieses Mediums abhängt. Maßgebend dafür ist der Wärmeübergangskoeffizient α in $[\text{W}/\text{m}^2 \text{K}]$. Bei Wasser werden z. B. folgende Werte angegeben:

Zustand des Wassers	α $[\text{W}/\text{m}^2 \text{K}]$
ruhend in Kesseln	580 bis 2300
strömend in Röhren	2300 bis 4700
siedend in Röhren	4700 bis 7000
siedend an Metallflächen	3500 bis 5800

Tafel 2: Wärmeübergangskoeffizienten α von Wasser [03]

Der Wärmeübergangskoeffizient α steigt demnach durch die Bewegung im Rohr gegenüber ruhendem Wasser um bis zum 12 – fachen dieses Wertes an. Für Tetrachlorethen konnten leider keine vergleichbaren Werte gefunden werden. Doch selbst wenn man berücksichtigt, dass die oben angeführten Wärmeübergangskoeffizienten bei Tetrachlorethen durch die gelösten Öle und Fette geringer ausfallen, so dürfte trotzdem das prinzipielle Verhalten von α_{Per} gemäß Tafel 2 erhalten bleiben. Die neue Destilliereinrichtung sollte demnach entsprechend der folgenden Abbildung entwickelt werden:

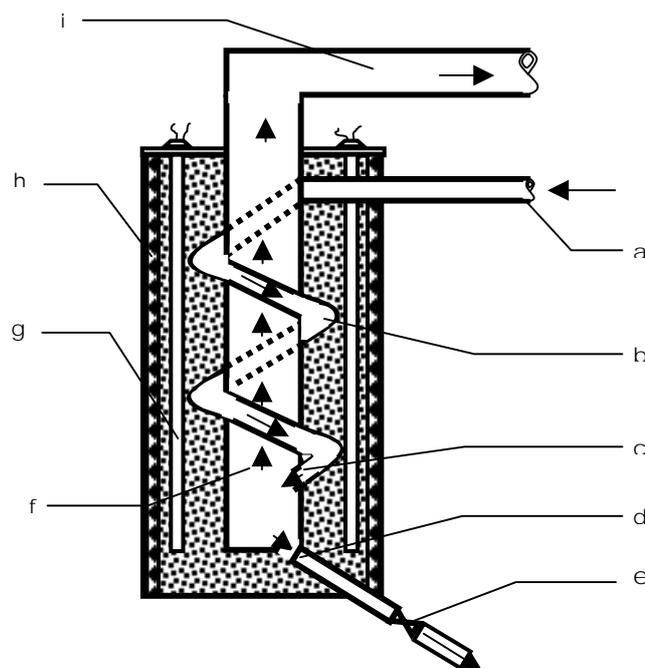


Abbildung 8: Prinzip der neuartigen Destilliereinrichtung

- a = Per-Zuleitung e = Ventil für Schmutzabfluss
 b = Destillierrohr (Fallrohr) f = Steigrohr

c = Ausgang Per-Dampf und Schmutz
 d = Schmutz-Abfluss
 g = elektrische Heizung
 h = Wärmeisolierung
 i = reines Per zum Kondensator

Die Teilentgasungsströme, die durch Steigrohre abgeleitet werden, sind nicht eingezeichnet.

Zur Verbesserung dieser Filtertechnik und zur Vermeidung Per- belasteter Rückstände sollten die bisher gebräuchlichen Polyamidscheiben durch ein sackförmiges Filtertuch aus Baumwolle ersetzt werden. Baumwolle besitzt die bereits einleitend diskutierte Eigenschaft, durch Wasser zu quellen. Hier bedeutet dies, dass die Baumwolltücher sehr schnell das in der Reinigungsflotte enthaltene Wasser aufnehmen und dadurch quellen. Anstelle von Baumwolle können auch andere in Wasser quellende Stoffe verwendet werden, wie Viskose oder Schurwolle (vergl. Tabelle 1). Dies hat zwei wichtige Effekte zur Folge:

- Die Poren des Filtermediums verengen sich aufgrund der Quellwirkung, sodass auch kleinste Schmutzpartikel zurückgehalten werden. Der Effekt verstärkt sich durch den Aufbau des Filterkuchens.
- Das im Lösungsmittel enthaltene Wasser wird im Filtermaterial zurückgehalten. Beim Destillieren liegt somit kein azeotropes Gemisch mehr vor.

Das Prinzip dieses Filters ist in der nächsten Abbildung dargestellt.

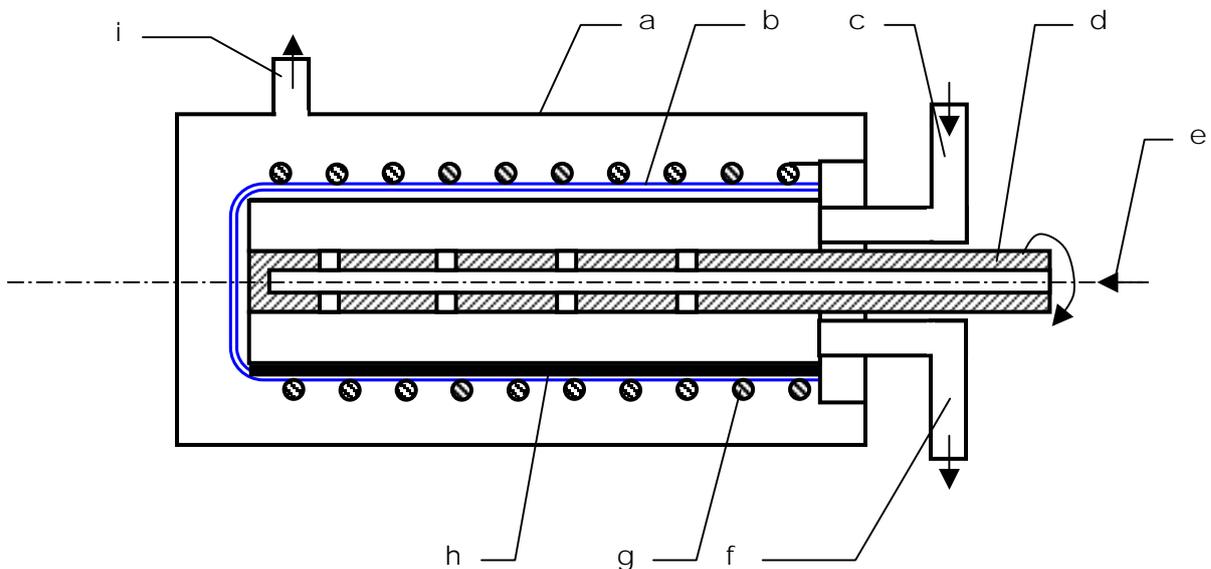


Abbildung 9: Prinzip des neuen Filters

a = Filtergehäuse	f = Ausblasen des Filterbelags
b = Filtermedium	g = Käfig
c = verunreinigtes LM	h = Abstreifer
d = Hohlwelle	i = Ablauf gefiltertes LM
e = Heißluft	

Nach Abbildung 9 wird in das Filtergehäuse a nach der ursprünglichen Planung ein sackartiges Filtermedium b aus Baumwolle oder ähnlichem, quellfähigem Stoff eingesetzt. Das verunreinigte Per strömt durch den Zulauf c ein. Das Filter b wird durch ein käfigartiges Gehäuse g in Flussrichtung abgestützt. Durch den

Wasseranteil im LM quillt das Filtermedium auf, die Poren verengen sich. Der Effekt wird durch angeschwemmten Schmutz noch verstärkt. Es bildet sich innen ein Belag aus wasserlöslichem Schmutz, während Fette und Öle, die in der Destillation abgetrennt werden, das Filter passieren. Wird der Differenzdruck zwischen Ein- und Ausgang zu hoch, so wird der Zulauf c verschlossen. Stattdessen wird über die Hohlwelle d Heißluft eingeblasen. Filtermedium und Filterbelag trocknen, der Schmutz verkrustet, reißt auf und wird mit dem rotierenden Abstreifer h abgestreift. Er fällt nach unten und wird zusammen mit dem zuerst anfallenden Wasserdampf aus der Trocknung des Filtermediums über die Leitung f ausgeblasen. Danach ist das Filter wieder funktionsfähig. Im Gegensatz zu den bisher gebräuchlichen Filtern ist der ausgetragene Schmutz dadurch lösemit-telfrei. Er wird in einem Papierbeutel aufgefangen und kann mit dem Hausmüll entsorgt werden. Der Antrieb zum Abschleudern des Belags entfällt. Wir hatten die Funktion des neuen Filters vorab durch einen Vorversuch geprüft und den abgeschiedenen Filterbelag durch die

SAA Sonderabfallagentur Baden-Württemberg GmbH,
Welfenstr. 15,
70736 Fellbach/Württ. Tel. 0711-951961-0

analysieren lassen. Diese Untersuchung ergab, dass dieser Filterbelag problemlos auf Hausmülldeponien gelagert werden kann (Zuordnungswert Z 1.2). Die Untersuchung des Eluats ergab ebenfalls einen Zuordnungswert von Z 1.2. Werte bis Z3 lassen nach der TA Siedlungsabfall die Ablagerung auf Deponien (Deponiekategorie I) zu. [08]

3.1 Darstellung der einzelnen Arbeitsschritte, der angewandten Methoden und der tatsächlich erzielten Ergebnisse

3.1.1 Darstellung der einzelnen Arbeitsschritte

Der Ablauf des Entwicklungsvorhabens wurde gemäß den folgenden Arbeitsschritten geplant:

AS 1 Untersuchung gebräuchlicher Filter und Destillierbehälter

Die bisher eingebauten Destillations- und Filtereinrichtungen der oben erwähnten Hersteller an den Reinigungsmaschinen verschiedener Modelle und Baugrößen sind zu untersuchen. Behältergrößen und Destillationsleistung sowie die Durchflussraten und die Anschlussmaße der gebräuchlichsten Maschinen sind für die Dimensionierung der neuen Einrichtungen zu ermitteln. Die Untersuchung kann im Hause an den vorhandenen Gebrauchsmaschinen durchgeführt werden.

AS 2 Ausarbeitung des Pflichtenhefts

Aufgrund der Untersuchung nach AS 1 sind die gebräuchlichsten Baugrößen und Maschinentypen festzulegen, für die die Entwicklungsgegenstände ausgelegt werden sollen. Sämtliche Anforderungen an die neuen Komponenten für Destillation und Filterung sind in einem Pflichtenheft zu definieren.

AS 3 Entwicklung der Destilliereinrichtung

Zunächst werden Querschnitt und Anzahl der Rohrwendel für die Durchleitung des verunreinigten LM bestimmt. Es folgt die Festlegung der Heizung, die durch elektrische Heizstäbe oder -bänder oder vorzugsweise mit Dampf erfolgen soll, da die Temperaturübertragung mit Dampf homogener ist. Der Abfluss der ausdestillierten Verunreinigungen wird konstruiert. Der einwandfreie Durchfluss des Destillates muss durch ein Durchflussmessgerät oder ein Differenzdruck-Messgerät überwacht werden. Ferner ist eine Ausführung mit Dampfbeheizung zu entwickeln. Die Dimensionierung der Bauteile muss durch laufende Versuche überprüft werden. Steuerung und Schnittstellen zu gebräuchlichen Maschinen sind zu entwickeln.

AS 4 Herstellung eines Prototyps der Destilliereinrichtung

Nach Entwicklung der neuen Destillationseinrichtung werden die erforderlichen Einzelteile konstruiert und hergestellt bzw. beschafft. Anschließend wird ein Prototyp montiert.

AS 5 Versuche mit der neuen Destilliereinrichtung

Die Vorrichtung wird an eine geeignete Gebrauchsmaschinen aus dem Bestand des Antragstellers angebaut und erprobt. Es ist damit zu rechnen, dass noch Fehler zu beseitigen und erkannte Verbesserungen durchgeführt werden müssen. Erste Messungen zum Nachweis der Energieeinsparung sind vorzusehen.

AS 6 Entwicklung der neuen Filtertechnik

Die Entwicklung einer besseren Filtertechnik ist für die neue Destillationsmethode unbedingt erforderlich, um die Schmutzfracht schon im Vorfeld abzuscheiden. Deshalb wird im Anschluss an die Versuche nach AS 5 mit der Entwicklung der neuen Filtertechnik begonnen. Die erforderliche Größe der Filtertasche bei gegebenem Durchfluss, der sich nach der Destillationsleistung richtet, muss zunächst durch Versuche ermittelt werden. Vermutlich müssen verschiedene quellfähige Stoffe als Filtermaterial erprobt werden. Danach sind die Abmaße des Filters festzulegen. Zu- und Abfluss des LM sowie die Überwachung der Druckdifferenz am Filter werden festgelegt. Es folgt die Entwicklung der Einrichtung zum Trocknen, Abstreifen und Ausblasen des Filterbelags.

AS 7 Herstellung eines Prototyps des neuen Filters

Nach Entwicklung der neuen Filtereinrichtung werden die erforderlichen Einzelteile konstruiert, hergestellt oder beschafft. Anschließend wird ein Prototyp montiert.

AS 8 Versuche mit der neuen Filtertechnik

Der Filter wird zunächst als einzelnes Bauteil erprobt. Die Filterwirkung ist zu überprüfen, ebenso die Trocknung und Entfernung des Filterbelags. Die Belastung des Filterbelags mit Per wird geprüft. Evtl. müssen Fehler beseitigt und Verbesserungen vorgenommen werden.

AS 9 Montage des kompletten Systems Filtern - Destillieren

Es folgt der Zusammenbau von Filter und Destilliereinrichtung mit Erprobung des gesamten Systems. Dieser Arbeitsschritt dient der Prüfung und dem Abgleich des Zusammenspiels zwischen Filter und Destillationseinrichtung.

AS 10 Erprobung des neuen Systems im praktischen Betrieb einer Chemischen Reinigung

Hier sind Erprobung und Nachweis der erwarteten ökologischen und ökonomischen Vorteile der Neuentwicklung vorgesehen. Zu diesem Zweck werden die Prototypen von Filter und Destilliereinrichtung bei einem befreundeten Reinigungsbetrieb (vermutlich Fa. Sauberland Textilpflege, ein größerer Betrieb mit 10 Annahmestellen in Karlsruhe/Baden und Rastatt) eingebaut. Zwecks objektiven Nachweis der angestrebten Verbesserungen (Erfolgskontrolle) sollen danach zwei wissenschaftliche Institute eingeschaltet werden und zwar

a) SGS Institut Fresenius; Im Maisel 14; 65232 Taunusstein

Das Institut gehört zu den führenden Anbietern für nicht-medizinische Laboranalytik in Europa. Es hat im FuE-Projekt die Aufgabe, die Belastung des Filtrats zu messen und ggf. den Nachweis der Schadstofffreiheit zwecks Entsorgung als Hausmüll zu testieren.

b) Textilforschungszentrum Hohenstein

Kompetenzzentrum Textilreinigung; 74357 Bönningheim

Die angeführte Abteilung dieses bekannten Institutes betreibt Aktivitäten auf den Gebieten:

FuE, Analyse, Messungen, Gutachten, Beratungen, Aus- und Weiterbildung, technische und hygienische Prüfungen nach RAL RG 990.

Diesem Institut soll die Aufgabe übertragen werden, die erwartete Energieein-

sparung durch die neue Destillationsanlage sowie die mögliche Verbesserung des Reinigungseffektes durch die bessere Filtertechnik objektiv nachzuweisen.

AS 11Entwicklung verschiedener Baugrößen zur Umrüstung

Nach Nachweis der im Projektziel angeführten Verbesserungen, sollen weitere Baugrößen von Filter und Destillation in modularer Ausführung mit entsprechenden Schnittstellen als Umrüstsätze für die meistverkauften Maschinen entwickelt werden.

AS 12Verbreitung der Vorhabensergebnisse

Das Vorhaben wird mit Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse abgeschlossen. Insbesondere soll mit der Firma Böwe Augsburg Kontakt aufgenommen werden, um die Innovation auch in die Herstellung neue Maschinen einzubringen. Die Bearbeitung der Dokumentation und des Abschlußbericht sind ebenfalls in diesem Arbeitsschritt vorgesehen.

3.1.2 Darstellung der angewandten Methoden

Zu Beginn der Entwicklungsarbeiten wurden verschiedene Destillationseinrichtungen untersucht, sowie eine Recherche über Röhrenverdampfer durchgeführt. Dabei wurden die unterschiedlichen Methoden zur kontinuierlichen Verdampfung, die in der Nahrungs- und Genussmittelindustrie üblich sind, studiert. Es folgten grundlegende, physikalische Betrachtungen über Wärmeübergänge

Für die Entwicklungsarbeiten wurde eine Reinigungsmaschine für 18 bis 20 kg Reinigungsgut (trocken) zur Verfügung gestellt. Die Entwicklungsarbeiten der ersten Phase zielen darauf ab, mit der neuen Destilliereinrichtung in dieser Maschine einen kontinuierlichen Destillationsdurchsatz von 120 bis 150 l/h zu erreichen und dann eine Energieeinsparung von 1/3 der heute erforderlichen Energie nachzuweisen. Zum Vergleich der Energieeinsparung wurde eine gleich große Standardmaschine herangezogen, die entsprechend dem aktuellen Stand der Technik ausgerüstet war.

Als erstes wurde die Wendel für die Destillation des verschmutzten Pers entworfen. Deren Herstellung erwies sich als schwierig. Zunächst wurde ein 3-Zoll-Kupferrohr (89,5 mm Ø, Wandstärke 2,0 mm) vorgesehen, das mit einer bestimmten Steigung gebogen werden sollte. Die Biegearbeiten konnten wir im Hause nicht durchführen. Wir wandten uns an die Firma Metallwerkstatt Schumacher/Carl-Zeiss-Str. 5 in 70794 Filderstadt-Harthausen, die ein Fachbetrieb und Spezialist für die Herstellung passgenauer Profilbiegeteile und -wendel ist. Leider verliefen die Versuche erfolglos, da die Wandstärke zu gering war. Um den Wendel mit dem gewünschten Außendurchmesser von 685 mm biegen zu können, wäre eine Wandstärke von mindestens 4 mm erforderlich gewesen. 3-Zoll-Kupferrohr mit 4 mm Wandstärke war jedoch in ganz Europa nicht zu bekommen. Deshalb musste der Wendel umkonstruiert werden, um ihn aus Rohrstücken mittels Hartlöten zusammen zu fügen. Es wurde Cu-Rohr mit 2 mm Wandstärke verwendet, das entsprechend zugeschnitten wurde, so dass ein sechseckiger Wendel entsprechend der folgenden Abbildung entstand, der mittels einer speziellen Vorrichtung in einem weiteren Fachbetrieb passgenau hartgelötet wurde.

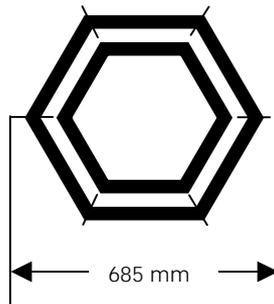


Abbildung 10: Rohrstücke 3 Zoll \varnothing und 2 mm Wandstärke mittels Hartlöten zu einem sechseckigen Wendel zusammengefügt (Draufsicht)

Der komplette Destillationswendel weist eine gestreckte Länge von ~ 12 m auf. Eine Ansicht ist in der nächsten Abbildung wiedergegeben.



Abbildung 11: Erste Ausführung des Destillationswendels

Die angeführte Länge von etwa 12 m wurde deswegen gewählt, weil der Destillationsverlauf und damit die erforderliche Länge der Wendel zunächst nicht bekannt waren. Wir versahen die Wendel deshalb mit verschiedenen Ableitungen. Dadurch konnte in der Testphase geprüft werden, nach welcher Wendellänge das meiste Destillat auftritt, so dass die endgültige Wendellänge dadurch optimiert werden konnte. Dem gleichen Zweck dienten Temperaturfühler an den einzelnen Entnahmestellen, um jeweils die Temperatur des Per-Gases zu messen. Die verschiedenen Kondensatableitungen wurden zu einzelnen Kondensatoren geführt, so dass nach der Verflüssigung auch die Menge der destillierten

Flüssigkeit je Zeiteinheit an den verschiedenen Ableitungen bestimmt und verglichen werden konnte.

Zur Beheizung der Destillationswendel wurde von der ursprünglich geplanten elektrischen Ausführung nach Abbildung 8 abgegangen und eine Dampfheizung vorgesehen. Die Art der Beheizung wurde gegenüber der elektrischen Beheizung mit Thermoöl als Wärmeträger deshalb bevorzugt, weil die Wärmeübertragung mittels Dampf, wie in Tafel 3 nachgewiesen wird, wesentlich effektiver ist und die Einrichtungen für die Dampfheizung billiger und leichter zu beschaffen sind. Ein Dampferzeuger mit einer Leistung von 18 kW wurde eingekauft. Die Wendel wurde in einen Dampfkessel eingebaut, der in der nächsten Abbildung dargestellt ist.

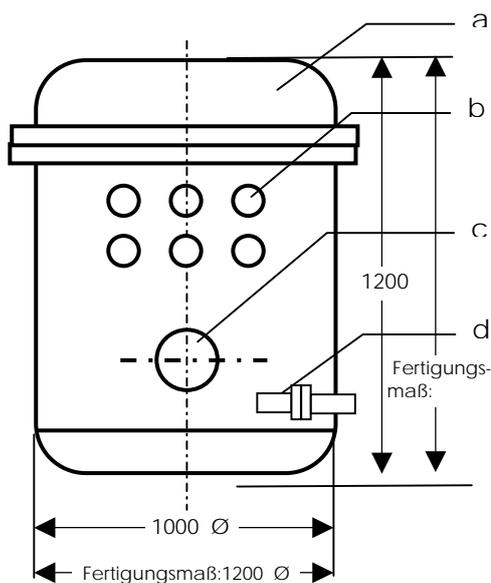


Abbildung 12: Dampfkessel zur Beheizung der Destillationswendel

- a = Klöpperboden
- b = Flansch für die Entnahmestellen
- c = Mannloch zur Montage
- d = Flansch zur Ableitung der Destillationsrückstände

Maße in mm

Als "Klöpperboden" wird ein gewölbter Boden (abgeflachte Kugelform) als Abschlußelement von meist zylindrischen Druckbehältern bezeichnet. Maße nach DIN 28011: Berechnung nach Druckarterie

Sämtliche Flanschen wurden in Edelstahl ausgeführt. Der Dampfkessel selbst wurde aus Stahlblech gefertigt. Er muss bis 3 bar druckfest sein und wurde mit 6 bar zur Prüfung abgedrückt. Darüber liegt ein Prüfzertifikat des TÜV vor. Der Kessel konnte deshalb nicht selbst gefertigt werden. Wir holten Angebote von folgenden Firmen ein:

Ingenieurbüro BISP Druckbehälterbau; Sternalle 41; 68723 Schwetzingen
Angebotspreis: 14 950,- €

- Zafa wärmetechnischer Apparatebau GmbH; Draisstraße 20;
76448 Durmersheim
Angebotspreis: 12 400,- €

- Clauss GmbH & Co. KG, Fritz-Müller Str. 105, 73730 Esslingen
Angebotspreis: 10 000,- €

Der Auftrag wurde an die Firma Clauss vergeben. Zusätzlich erhielt das Unternehmen den Auftrag, die Destillationswendel und sämtliche Flanschen druckdicht einzubauen. Die Lieferzeit wurde uns auf 4 bis 5 Wochen zugesagt, aber nicht eingehalten. An dieser Stelle möchten wir bemerken, dass die Firmen in den Jahren 2006/07 i. a. sehr gut ausgelastet waren, so dass Angebote und die Durchführung von Aufträgen stets mehrfach angemahnt werden mussten.

Dies mussten wir leider bei der Vergabe des Auftrags für den Dampfkessel zur Beheizung der Destillationswendel erneut erfahren. Wie angeführt, hatten wir den Auftrag zur Herstellung eines Dampfkessels an die Firma Clauss GmbH & Co. KG in 73730 Esslingen vergeben, die als Spezialist für TÜV-geprüfte Dampfkessel gilt. Als wir keine Auftragsbestätigung erhielten, mussten wir feststellen, dass die Firma Clauss GmbH & Co. KG den Auftrag gar nicht angenommen hatte. Erneut musste ein Hersteller gesucht werden, der in der Lage war, den Dampfkessel mit Prüfzertifikat herzustellen. Deshalb konnte dieser Auftrag erst am im Dezember 2006 an die Firma Schlienz Behälterbau in 73666 Baltmannsweiler vergeben werden. Die in Abbildung 8 gezeigte Destillationswendel wurde durch das gleiche Unternehmen eingebaut. Damit sollte sichergestellt werden, dass sämtliche Anschlussflansche an den Kessel dicht ausgeführt werden.

Aufgrund des von uns verlangten Prüfzertifikats und wegen der Gewährleistung bestand die Firma Schlienz darauf, dass die Destillationswendel vor Einbau mit Flanschen versehen und abgepresst wurde. Die Flansche wurden ebenfalls hartgelötet. Vor allem durch das Abpressen, das bei einer Fremdfirma gemacht werden musste, entstand eine weitere Verzögerung. Die Lieferung des Dampfkessels mit eingebauter Destillationswendel war deshalb erst im März 2007 möglich.

Bei der Montage zeigte sich, dass sich Lieferfirma Schlienz Behälterbau nicht an unsere maßlichen Vorgaben gehalten hatte. Wie schon in Abbildung 12 angedeutet, lagen die Fertigungsmaße im Durchmesser um 200 mm und in der Höhe um 400 mm über den von uns vorgegebenen Maßen. Wie sich nachträglich zeigte, wurde von Fa. Schlienz eine fertige Konstruktion verwendet, für die bereits eine TÜV-Genehmigung vorlag.

Angesichts der durch die Suche eines potenten Lieferanten ohnehin schon eingetretenen Verzögerung nahmen wir diese Abweichungen in Kauf, sind uns aber bewusst, dass die Größe des Kessels bei Verfü-





Abbildung 14: Dampfkessel für die Destillationswendel,
Blick auf die Druck- und Temperaturmessgeräte

Während der Filterentwicklung nach der ursprünglichen Bauform stellten wir fest, dass die Entfernung des getrockneten Filterkuchens nicht optimal war, weil das sackförmige Filtertuch dem Abstreifer ausweichen konnte. Es war deshalb nicht sauber zu bekommen. Auch die Trocknung des Filtermediums war nicht schnell genug möglich. Das Filter wurde deshalb nach der folgenden Abbildung geändert:

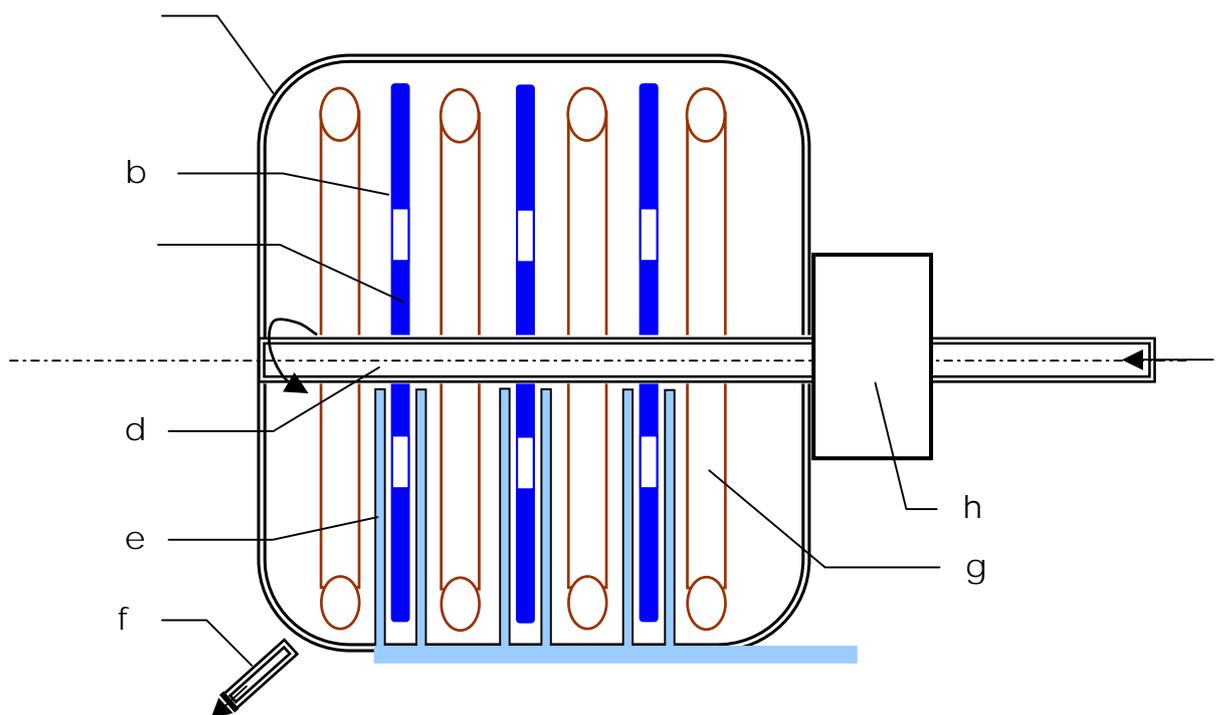


Abbildung 13: Dampfkessel mit eingebauter Destillationswendel

Am Boden des Behälters wurde zusätzlich eine Schwersiederheizung eingebaut, um auch den letzten Rest an Lösemittel aus diesen Rückständen auszutreiben.

Bei den ersten Destillationsversuchen zeigte sich, dass das Lösemittel vor Einleitung in die Destillationswendel sehr gut gefiltert werden muss, um die Bildung wärmedämmender Beläge zu verhindern.

Deshalb wurde vor weiteren Destillationsversuchen mit der Filterentwicklung entsprechend Abbildung 9 begonnen.

Abbildung 15: Praktische Ausführung des neuen Filters

- | | |
|--|--|
| a = Filtergehäuse | f = Ablauf gefiltertes Lösemit-
tel |
| b = Filtermedium Baumwolle | g = beheizter Cu-Wendel |
| c = Edelstahlscheibe in Baumwoll-
vlies | h = Antrieb mit 1,9 U/min |
| d = Hohlwelle | |
| e = Schlitzdüsen als Belagabstreifer u. -absaugung | |

Das verunreinigte Lösemittel läuft über die Hohlwelle d in das Filtergehäuse a ein. Es trifft auf drei Edelstahlscheiben c, die als Träger für das Baumwollgewebe dienen, die das eigentliche Filtermedium darstellen. Die Filterfläche bei 3 Scheiben mit jeweils 390 mm Durchmesser beträgt 7.164 cm² bzw. 0,7164 m². Sie konnte damit sogar gegenüber der ursprünglichen Ausführung noch vergrößert werden.

Die Stahlscheiben sind mit wenigen Lochungen versehen, durch die das Lösemittel rel. langsam durchströmt. Es läuft dann am Ende des Gehäuses bei f gereinigt ab. Auf dem Baumwollgewebe bildet sich außen ein Belag aus wasserlöslichem Schmutz, während die den Stahlscheiben zugewandten Seiten frei bleiben. Sobald ein Druck im Gehäuse von 1,3 bar überschritten wird, schaltet der Lösemittelzulauf ab. Dann werden die Filterbeläge durch Einblasen von Warmluft in die sehr flachen Kupferwendel g getrocknet. Der Getriebemotor h setzt die Hohlwelle und damit auch die verbundenen Filterscheiben in Rotation mit etwa 1,9 U/min, so dass die Schlitzdüsen e den Filterbelag abstreifen können, der dann sofort abgesaugt wird. Falls erforderlich kann durch die gleiche Leitung zuvor auch ebenfalls Heißluft zur schnellen Trocknung eingeblasen werden, so dass der abgestreifte Filterbelag mit Sicherheit lösemittelfrei ist.

Weitere Schwierigkeiten zeigten sich hier vor allem in der Werkstoffauswahl. Der Einsatz im Lösemittelkreislauf mit Drücken bis 2 bar und die Filtertrocknung bei Temperaturen bis <140°C erfordert die Verwendung spezieller Werkstoffe. Der Antrieb der zentralen Hohlwelle mit den Abstreifern (1,9 U/min) für den getrockneten Filterkuchen über einen Getriebemotor wurde deshalb an die Firma

GDG-Gerätebau GmbH, Lochmatt 8, 77880 Sasbach vergeben,

die das Gerät entsprechend der folgenden Abbildung 12 entwickelte. Die Lieferung dieser Komponente erfolgte gegen Ende des I. Quartals 2007.

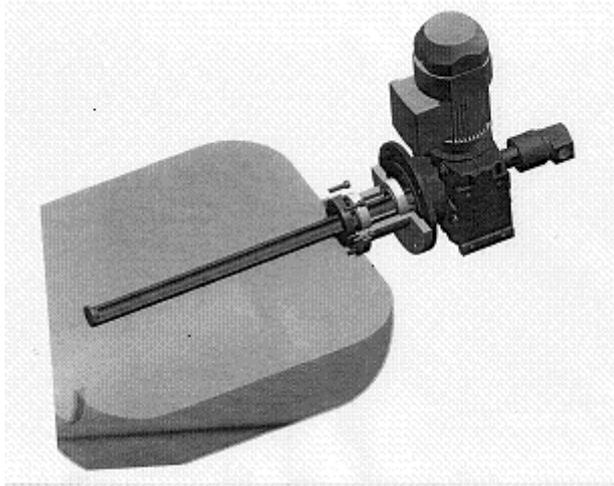


Abbildung 16: Zentrale Zuführung von Heißluft zum Trocknen des Filtermediums durch drehbare Hohlwelle; Antrieb durch Getriebemotor

Als problematisch bei den Arbeiten erwies sich die Beschaffung geeigneter Schieber zum Einbau in die Lösemittel führenden Leitungen, da sie in Deutschland nur in Zink- oder Aluminium-Druckguss angeboten werden. Per kann jedoch mit verschiedenen Metallen, insbesondere mit Aluminium, stark exotherme Reaktionen auslösen, weshalb der Werkstoff nicht geeignet ist. Außerdem haben diese Schieber rel. lange Anschluss-Stutzen. Sie sind auch deshalb für unsere Zwecke nicht geeignet, da darin insgesamt erhebliche Mengen an Lösemitteln stehen bleiben. Wenn Warmluft ins Filter geblasen wird, verdampft auch das Lösemittel in den Rohren und Anschluss-Stutzen. Dadurch entstehen entsprechend hohe Messwerte, die zu einer Verlängerung der Trockenzeit führen. Dies würde einen zusätzlichen Energieaufwand bedeuten. Deshalb müssen außer den Anschlussrohren auch die Ventil-Stutzen möglichst kurz gehalten (abgeflext) und angeschweißt werden. Dies ist nur mit Edelstahlschieben möglich. Nach längerer Recherche fanden wir schließlich pneumatisch betätigte Kugelschieber aus Edelstahl bei der Firma Valvaut/I-40068 San Lazzaro di Savena (Bologna) entsprechend Abbildung 13.



Abbildung 17: Pneumatisch betätigter Schieber aus Edelstahl mit Dichtungen

Der getrocknete Filterkuchen wird über den rotierenden Abstreifer mit Antrieb nach Abbildung 8 vom Filtermedium abgestreift. Gemäß unserer Planung wird das Filtrat anschließend ausgeblasen oder abgesaugt.

Mit Abschluss der Filterentwicklung standen dann alle neuen Komponenten zur Verfügung, um die komplette Destillations- und Filterentwicklung zu erproben. Um ausreichend Volumen zur Erprobung der Destillation zur Verfügung zu haben, wurde eine Tankgruppe mit einem Inhalt von 3 x 500 l bereitgestellt.



Abbildung 18: Tankgruppe mit einem Volumen von 3 x 500 l für die Destillationsversuche

Zur Kontrolle der Lösemittelkonzentrationen wurde ein sehr genaues Sondermessgerät "airTOX-Gas-Photometer" der Firma Fresenius Umwelttechnik GmbH in D-45699 Herten/NRW beschafft. Dabei handelt es sich um ein Ein-Küvetten-Infrarotspektrometer. Die Messkomponenten absorbieren bei der Messung spezifische Anteile einer breitbandigen IR-Strahlung. Das Ausmaß dieser Absorption ist ein Maß für die jeweilige Gaskonzentration. Bei gleichzeitiger Messung von mehreren Komponenten kommt eine entsprechende Anzahl an Filter/Detektor-Kombinationen zum Einsatz. Im vorliegenden Fall handelt es sich um ein Dreikanal-Gerät mit dem die Lösemittelkonzentration in der Raumluft, die Filterbelastung und Reinigungsmaschine überwacht werden.



Abbildung 19: airTOX-Gas-Photometer der Firma Fresenius Umwelttechnik GmbH

3.1.3 Darstellung der tatsächlich erzielten Ergebnisse

Die erzielten Ergebnisse sind in untenstehender Tafel zusammengefasst.

Parameter:	Entwicklung Destillierwendel	konventionelle Maschine *)	Einheit
Füllmenge		20	kg
Destillierbehälter		310	l
Filterfüllung		75	l
Destillation:			
Anschlusswert dampfbeheizt		7,3	kW
Anschlusswert elektr. beheizt		23,3	
Durchfluss	700	150	l/h
Energieverbrauch dampf- beheizt		0,05	kWh/l
Energieverbrauch elektr. beheizt		0,15	kWh/l
max. Temperatur		>150	°C
Filter:			
Filterfläche	0,716	2,7	m ²
Standzeit bis zum Entfer- nen des Filterbelags	2 bis 3	1	Chargen
Restliche Belastung des LM			g/l
Dichtheit der Gesamtan- lage:			
Belastung der Raumluft			ppm
Belastung im Filter			g/cm ³
Belastung in der Maschine			g/cm ³

Tafel 3: Erzielte Ergebnisse im Vergleich mit konventioneller Aufbereitung der LM

*)Böwe Textilreinigungsmaschine P540

3.2 Diskussion der Ergebnisse

3.3 Ausführliche ökologische, technologische und ökonomische Bewertung der Vorhabensergebnisse

Ökologische Vorteile

Die ökologischen Vorteile der Entwicklung liegen vor allem in der erzielten Einsparung an Energie. Zu erwähnen ist ferner die Vermeidung LM-haltiger Filtrate durch die neuartige Filtertechnik.

Die Reinigungsmaschinen werden mit Füllvolumen zwischen 10 und 50 kg angeboten. Zum Nachweis der Energieeinsparung wird von einem mittelgroßen Maschinentyp mit einer Füllmenge von 20 kg, z. B. die Maschine P540 der Firma BÖWE Textile Cleaning GmbH Augsburg, ausgegangen. Für diese Reinigungsmaschine werden im Prospekt folgende technische Daten angegeben:

Bezeichnung	Wert	Einheit
BÖWE-Maschinentyp	P540	
Lösemittel	Tetrachlorethen	
Füllmenge	20	kg
Trommelinhalt	400	l
Behältervolumen:		
Tank I	175	l
Tank II	240	l
Destillierbehälter	310	l
Öko-Filter	75	l
Elektr. Leistung (Destillation elektr. beheizt)	23,3	kW
Elektr. Leistung (Destillation dampfbeheizt)	7,3	kW
Destillierdurchsatz (Durchfluss)	150	l/h

Tafel 4: Technische Daten einer Reinigungsmaschine
(BÖWE Typ P540, Standardausführung; Kopie der techn. Daten im Anhang)

Durch den Einbau der neu entwickelten Komponenten wird gemäß Nachweis die erforderliche elektrische Energie zur Destillation um ...% reduziert, während die übrigen Leistungsdaten erhalten bleiben.

Bezeichnung	Wert	Einheit
Betriebsstunden pro Jahr bei 240 Arbeitstg. zu je 8 Stunden	1.920	h
Konventionelle Destillation:		
Energieverbrauch bei 6 Std. Destill./Tag	140	kWh pro Tag
Energieverbrauch pro Jahr und Maschine	33.600	kWh/a
Energiekosten ohne MWST	0,17	€/kWh
Jährl. Energiekosten je Maschine	5.712,00	€/kWh
neue Destillation in einer Wendel		
.....% Einsparung entspricht	10.080	kWh/a
CO ₂ -Einsparung bei gemischter Energieerzeug. Gas-Kohle	2,45	t/a
Einsparung an Energiekosten	1.836,00	€/a

Tafel 5: Berechnung der jährlichen Energieeinsparung durch die neue Destillier-

einrichtung bei einer Reinigungsmaschine gemäß Tafel 4

Die zur Reinigung kommende Bekleidung enthält nach [09] im Durchschnitt 12 bis 15 g Schmutz pro Kilo Ware, der sich etwa so zusammensetzt:

1. Etwa 60 % weder in Wasser noch in Lösemittel lösliche Komponenten. (Pigmentschmutz, Erde, Hautschuppen, Ruß usw.)
2. Etwa 20 % wasserlösliche, im Lösemittel nicht lösliche Komponenten. (Schweißbestandteile, Zucker, Fruchtsäfte usw.)
3. Etwa 10 % wasserquellbare, in Lösemittel nicht lösliche Komponenten. (Stärke, Eiweiß und auf diesen Grundstoffen aufbauende Verfleckungen)
4. Etwa 10 % im Lösemittel lösliche, wasserunlösliche Komponenten. (Öle, Fette, Harze, Wachse, einige Textilappreturen sowie Farbstoffe)

Von diesen Mengen gehen die Positionen 1 und 4 mit 8,4 bis 10,5g je kg pro Kilo Ware in das Lösemittel über. Pos.1 ist zwar nicht löslich, wird jedoch durch die Lösemittel abgetragen. Weil das Material unlöslich ist, muss es durch Filtration aus der Flotte entfernt werden. Andernfalls lagern sich die abgetragenen Pigmente auf das zu reinigende Material zurück (Vergrauung). Der Anfall an ausgefiltertem Material liegt bei der angeführten Reinigungsmaschine im Durchschnitt bei etwa 8 g je Liter Durchsatz.

Der Durchsatz pro Stunde beträgt 150 l. Dies ergibt bei nur 6 Betriebsstunden an 240 Tagen einen jährlichen Anfall von 1,296 Tonnen Schmutz der zusätzlich 1 Tonne anhaftendes Per enthält. Die hohe Stabilität der Chlorverbindungen erfordert bei ihrer Entsorgung einen großen Aufwand. Meistens wird die Hochtemperaturverbrennung angewandt, wobei je Tonne Altware ein Energiebedarf von etwa 400 kWh/t entsprechend 920 kWh je Maschine und Jahr zu berücksichtigen ist (nach [01], Seite 152).

Zur Abschätzung der gesamten ökologischen Bedeutung des Vorhabens werden diese Verbesserungen auf die in Deutschland betriebenen 4 500 Textilreinigungsmaschinen mit einer Reinigungsleistung von durchschnittlich 20 kg umgerechnet. Zur Berechnung der CO₂-Reduzierung wird von einem Energiemix von je 50% Öl und Gas zur Stromerzeugung ausgegangen. Zur Produktion von je 1 kWh wird von der Bildung von 0,180 kg CO₂ bei Gasfeuerung und von 0,273 kg CO₂ bei Ölfeuerung ausgegangen. Im Folgenden wird mit dem arithmetischen Mittelwert = 0,227 kg CO₂ je kW gerechnet.

Anzahl der Reinigungsanlagen in Deutschland	4500	Stück
Jährl. Energieverbrauch für 4 500 Masch.	151	GWh/a
jährl. Energieverbrauch zur Entsorg. des Filtrats	4	GWh/a
Summe Energieverbrauch	155	GWh/a
Energieverbrauch nach Einführg. der Entwicklung	106	GWh/a
Einsparung% durch neuart. Destillierg. + Entfall der Energie für Filtratentsorgung	49	GWh/a
CO₂-Einsparung bei gem. Energieerzeug. Gas-Kohle	11.123	t/a

Tafel 6: Berechnung der möglichen Energie- und CO₂-Einsparung in Deutschland

Das Umweltbundesamt rechnet im Forschungsbericht 104 08 325 "Metalloberflächenreinigung mit CKW, KW

und wässrigen Reinigern", Seite 158, mit der Entstehung von 0,611 kg CO₂ je kWh elektrischer Energie. Dies würde sogar einer gesamten CO₂-Reduzierung von **29.939 t/a** entsprechen. [01]

Der jährliche Anfall an Per-belastetem Filtrat aller deutschen Chemischen Reinigungsbetriebe dürfte etwa bei 10.350 Tonnen liegen. Diese Menge würde zu 95% entfallen.

Technische Vorteile

Die Destillation wird in einem Serienmodell nur einen geringen Platzbedarf, da nur die Menge an LM in die Wendel zum verdampfen gegeben wird, die unmittelbar verdampfen kann, d.h. eine Destillationsblase ist nicht erforderlich. Nicht flüchtige Rückstände werden kontinuierlich während der Destillation aus dem Verdampfer entfernt. Der Energieverbrauch ist stark reduziert, da keine Aufkonzentrierung der nicht flüchtigen Rückstände vermieden wird. Dadurch entsteht auch keine Siedepunkterhöhung. Der Lösemittelgehalt im nichtflüchtigen Rückstand ist aus diesem Grund außerordentlich gering. Die Destillation ist praktisch wartungsfrei, da die Rückstände kontinuierlich und automatisch entnommen werden.

Die rel. kleine Verdampferfläche könnte auch bei großer Destillierleistung zur Folge haben, dass die Anlage nicht den Bestimmungen der 4. BImSchV unterworfen werden muss, weil das Gefahrenpotential bei einer Störung im Vergleich zu einer Destillierblase wesentlich geringer ist, da im Störfall nur die Menge an LM frei werden kann, die sich momentan im Verdampfer (Wendel) befindet.

Das Filter aus Baumwolle ist aufgrund der Funktionsweise über lange Zeit funktionsfähig, da es nur nach jeder zweiten oder dritten Charge getrocknet werden muss. Die Lebensdauer wird lediglich durch der Verschleiß, den der Abstreifer am Filtertuch verursacht, begrenzt. Durch die automatische Trocknung und Reinigung nach jeder Charge ist es immer wieder für Wasser und Schmutz aufnahmebereit. Vergrauung der Ware durch Rückübertragung von wasserlöslichem Schmutz ist bei dieser Filterausführung nicht mehr möglich. Das getrocknete Filtrat wird automatisch nach jeder Charge vom Filtertuch entfernt und kann zum Hausmüll gegeben werden, das es frei vom LM ist. Adsorptionssysteme mit Aktivkohle für jedes LM können aufgrund des neuen Filters annähernd zu 100% genutzt werden, weil die festen Schmutzbestandteile im Filter verbleiben und somit die Durchflussöffnung der Adsorptionsanlage nicht verstopfen können.

Die Qualität des Filters beeinflusst die Häufigkeit der Destillation gemäß folgender Überlegung: Das Aufnahmevermögen des LM ist je nach Schmutzart unterschiedlich. Alle LM-löslichen Schmutzbestandteile, wie z. B. Fette und Öle, können in viel höherem Maß durch das LM aufgenommen werden, als nicht löslicher Schmutz wie z. B. Flusen, Pigmente und wasserlöslicher Schmutz. Da das neue Filter den nicht LM-löslichen Schmutz zuverlässig aussondert, erhöht sich die Standzeit des LM, da der Zeitpunkt der Destillation des LM von anderen Kriterien, als von der Schmutzbelastung abhängig gemacht werden. In Frage käme etwa die Destillation nach der Verfärbung des Lösemittels durch den LM-löslichen Schmutz. Weniger destillieren bedeutet aber weiter reduzierter Energieverbrauch.

Ökonomische Vorteile

Es können beachtliche Kostenreduzierungen nachgewiesen werden. Sie entstehen durch

- geringeren Energieverbrauch,
- Reduzieren der Entsorgungskosten für Per-haltigen Filterkuchen um 95%,
- Längere Standzeit der Reinigungsmaschinen, da die Korrosion durch Salzsäure und die Zugabe von Neutralisierungsmitteln entfallen.

Der Kostenvorteil durch die längere Standzeit der Maschinen wurde wie folgt errechnet: Der Kaufpreis einer Textilreinigungsmaschine darf nach der amtlichen AfA-Abschreibungstabelle in 10 Jahren bzw. mit 10%/a abgeschrieben werden. Bleibt die Maschine durch Einbau der Neuentwicklung z.B. 2 Jahre länger betriebsbereit, so reduziert sich die effektive jährliche Abschreibung auf 8,3%. Dies entspricht bei einem Kaufpreis von z.B. 60 000,- € einem Rückgang der jährlichen AfA von 6.000,- € auf 4.980,- € bzw. einer jährlichen Einsparung von 1.020,- €.

Sämtliche Einsparungen sind in der Tafel 7 zusammengefasst:

Jährliche Kostenreduzierung durch:	Betrag je Reinigungsmaschine pro Jahr	Aufsummiert für alle dt. Reinigungs- maschinen
Energiekosten (je Maschine minus 10 080 kWh/a zu 0,17 €/kWh)	1.713,60 €	7.711.200,00 €
Entsorgungskosten für Per-haltiges Filtrat Kosten je 200-l-Faß: 290,- €; 11 Fass/a	2.860,00 €	12.870.000,00 €
Längere Standzeit der Maschinen	1.020,00 €	4.590.000,00 €
Gesamte jährliche Kostenreduzierung durch die Neuentwicklung	5.593,60 €	25.171.200,00 €

Tafel 7: Berechnung der jährlichen Kostenreduzierung je Reinigungsmaschine (Spalte 2) und hochgerechnet für sämtliche Maschinen in Deutschland (Spalte 3)

Rechnet man für den Einsatz der neuen Destillier- und Filtertechnik bei einer Gebrauchsmaschine mit Kosten von 20 000,- € einschließlich Umbau und Inbetriebnahme, so amortisieren sich diese Kosten schon nach 3,7 Jahren. Neben den großen umweltentlastenden Vorteilen wird der Umbau somit für jeden Reinigungsbetrieb auch finanziell sehr lohnend sein.

3.4 Darlegung der Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse

Zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse haben wir folgende Planung: Wir werden Gespräch mit Herstellern von Textilreinigungsmaschinen suchen und Ihnen die Vorteile der neuen Technik an den Prototypen vorführen. Da die Filtertechnik von den Maschinenbauern meistens bezogen wird, möchten wir auch diese Hersteller, die vor allem in Italien ansässig sind, in die Vorführungen mit einbeziehen.

Um einen gewissen Druck auf die Hersteller von Textilreinigungsmaschinen und Komponenten aufzubauen, werden wir auch deren Kunden, also die Textilreinigungsbetriebe, die Betriebe für die Reinigung von Industrietextilien sowie Textilinstitute durch Veröffentlichungen in Fachzeitschriften, im Internet und bei Informationsveranstaltungen unseres Hauses auf die neue, energiesparende Destillations- und Filtertechnik hinweisen. Angesichts der laufend steigenden Energiekosten rechnen wir damit, dass die neue Technik über die Kundenanforderungen schnell Eingang in das Angebot der Maschinenhersteller finden wird.

4.0 Fazit

5.0 Literaturverzeichnis

- [01] "Metalloberflächenreinigung mit CKW, KW und wässrigen Reinigern"
Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben "Ersatz und unverzichtbare
Einsatzgebiete von Chlorkohlewasserstoffen (CKW)"
Forschungsbericht 104 08 326, herausgegeben vom Umweltbundesamt
Berlin
- [02] BIA – Gestis; Stoffdatenbank der Deutschen gesetzlichen
Unfallversicherung
- [03] Horst Kuchling;
Taschenbuch der Physik
Verlag Harry Deutsch; Thun und Frankfurt/Main; 5. Auflage
- [04] Taschenbuch "Textilreinigung";
herausgegeben von der BÖWE Textile Cleaning GmbH
- [05] Internet-Schadstofflexikon unter
[www/dscweb.de/lexikon/eintraege_t.html](http://www.dscweb.de/lexikon/eintraege_t.html)
- [06] Daten zur Stoffidentifikation "Tetrachlorethen (Per)"
herausgegeben vom Bayerischen Landesamt für Umweltschutz
- [07] Dr. Schönberger und Dr. Schäfer, Umweltbundesamt Berlin;
Beste verfügbare Techniken in Anlagen der Textilindustrie;
FuE-Nr. 2000 94 329; Februar 2002
- [08] Ruth Henselder-Ludwig
TA Siedlungsabfall; Dritte allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallge-
setz;
Bundesanzeiger Verlags-Gesellschaft mbH Köln
- [09] Textilreinigermeister und Bundesinnungsmeister Franz Thür
Ausbildungs- und Prüfungsunterlagen für das Textilreiniger Gewerbe in
Österreich; 3. überarbeitete Ausgabe 2004
WK-NÖ, Landesinnung der Textilreiniger und Wäscher
A-1014 Wien, Herrengasse 14, Tel.: 01/53466/1230

Anhang

Technische Daten

Böwe Textilreinigungs- Maschinen

	P 520		P 525		P 532		P 540	
Lösemittel	Perchloroethylen		o-Modell		o-Modell		o-Modell	
Füllmenge								
Füllfaktor 1 : 20	kg	10	12,5	12,5	16	16	20	20
Trommelinhalt	l	200	250	250	320	320	400	400
Trommeldurchmesser	mm	850	850	850	970	970	970	970
Trommeltiefe	mm	360	440	440	430	430	540	540
Reinigungsdrehzahl	1/min	40	40	40	36	36	36	36
Schleuderdrehzahl	1/min	375	375	375	360	360	360	360
Behältervolumen								
Tank I	l	95	120	-	125	-	175	-
Tank II	l	200	160	160	195	195	240	240
Destillierbehälter	l	120	220	-	220	-	310	-
Öko-Filter/RA-Filter	l	40	50	50	65	65	75	75
Betriebslast max.								
dampfbeheizt	kW	4,4	4,8	4,8	6,6	6,6	7,3	7,3
- mit CONSORBA	kW	5,5	5,9	5,9	7,7	7,7	8,4	8,4
elektrisch beheizt	kW	12,4	14,8	8,8	20,6	11,6	23,3	13,3
- mit CONSORBA	kW	17,0	19,9	14,9	26,7	17,7	30,4	19,4
Destillierdurchsatz:								
dampfbeheizt	l/h	95	130	-	130	-	150	-
elektrisch beheizt	l/h	50	110	-	130	-	150	-
Maschinenmaße:								
Länge	mm	1670	1940	1150	2110	1320	2110	1320
- mit CONSORBA	mm	2275	2545	1755	2815	2025	2815	2025
Breite	mm	1200	1200	1200	1290	1290	1385	1385
Höhe	mm	2180	2180	2180	2340	2340	2340	2340
Abbaumaße (max):								
Breite	mm	910	990	990	970	970	1210	1210
Höhe	mm	1980	1995	1995	2165	2165	2165	2165
Gewicht								
ohne Lösemittel	kg	1000	1150	870	1380	1040	1400	1060
- mit CONSORBA	kg	1210	1405	1080	1635	1295	1655	1315
Gewicht								
mit Lösemittel	kg	1400	1555	1125	1850	1330	2015	1410
- mit CONSORBA	kg	1610	1810	1335	2105	1585	2270	1665
Bodenbelastung (statisch + dynamisch)	N/m ²	17800	15325	19800	17280	21300	15815	19450

BÖWE
Garment Care Systems

BÖWE Garment Care Systems GmbH
Rumplerstraße 2 · D-86159 Augsburg
Telefon (0821) 5707-0 · Telefax (0821) 5707-351