

Ziermann GmbH  
Maschinen und Geräte zur Textilpflege  
77880 Sasbach

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

Abschlußbericht über ein Entwicklungsprojekt,  
gefördert unter AZ 28738 Ref.21/2 von der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Dipl.-Ing.(FH) Frank Ziermann und Dipl.-Ing.(FH) Theo Mager

Februar 2013



# Inhaltsverzeichnis

I.	Verzeichnis der Bilder, Zeichnungen und Grafiken .....	02
II.	Verzeichnis der Tafeln .....	03
III.	Verzeichnis der verwendeten Begriffe, Abkürzungen und Definitionen.....	04
1.0	Zusammenfassung.....	05
2.0	Einleitung .....	07
2.1	Ausgangssituation, Stand der Technik.....	08
2.2	Projektziel .....	10
3.0	Hauptteil.....	11
3.1	Darstellung der einzelnen Arbeitsschritte, der angewandten Methoden und der erzielten Ergebnisse.....	11
3.1.1	Darstellung der einzelnen Arbeitsschritte .....	11
3.1.2	Darstellung der angewandten Methoden .....	14
3.1.3	Darstellung der tatsächlich erzielten Ergebnisse .....	20
3.2	Diskussion der Ergebnisse.....	22
3.3	Ausführliche ökologische, technologische und ökonomische Bewertung der Vorhabensergebnisse .....	23
3.3.1	Ökologische Bewertung .....	23
3.3.2	Technologische Bewertung .....	25
3.3.3	Ökonomische Bewertung .....	26
3.4	Darlegung der Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse .....	27
4.0	Fazit .....	28
5.0	Literaturverzeichnis .....	30

## I. Verzeichnis der Bilder, Zeichnungen und Grafiken

ABBILDUNG 1: PRINZIP DER WENDEL-DESTILLIEREINRICHTUNG .....	9
ABBILDUNG 2: DAMPFKESSEL MIT EINGEBAUTER DESTILLIEREINRICHTUNG .....	9
ABBILDUNG 3: PRINZIP DER DESTILLATIONSEINRICHTUNG FÜR LÖSEMittel..	15
ABBILDUNG 4: DESTILLATIONSEINRICHTUNG GEMÄß ABBILDUNG 3 .....	16
ABBILDUNG 5: REINIGUNGSMASCHINE TYP BÖWE P18 .....	17
ABBILDUNG 6: EINBAU DER NEUEN DESTILLATION IN EINE BÖWE P18.....	18
ABBILDUNG 7: BLICK VON LINKS AUF DIE DESTILLATIONSWENDEL UND DEN KONDENSATOR .....	19

## II. Verzeichnis der Tafeln

---

Tafel 1      Seite 07 = Quellvermögen wichtiger Textilfasern

---

Tafel 2      Seite 23 = Technische Daten einer Reinigungsmaschine

---

Tafel 3      Seite 24 = Vergleich der umweltrelevanten Daten

---

Tafel 4      Seite 24 = Vergleich möglicher Energieeinsparung

---

Tafel 5      Seite 26 = Berechnung der jährl. Energieeinsparung

---

### III. Verzeichnis der verwendeten Begriffe, Abkürzungen und Definitionen

$\alpha$	=	Wärmeübergangskoeffizienten von Wasser
€	=	Euro und daraus abgeleitet €/a (€ pro Jahr)
€/a	=	Kosten pro Jahr
€/kWh	=	Kosten je Kilowattstunde
€/m <sup>3</sup>	=	EURO pro Kubikmeter
µm	=	106 m
AS	=	Arbeitsschritt
AZ	=	Aktenzeichen
bar	=	Druckeinheit = 105 Newton/m <sup>2</sup>
BimSchV	=	Bundesimmissionsschutz-Verordnung
cm <sup>2</sup>	=	Flächenmaß
CO <sub>2</sub>	=	Kohlendioxid
Cu	=	Kupfer
d	=	Tag
DBU	=	Deutsche Bundesstiftung Umwelt in 49090 Osnabrück
g/cm <sup>3</sup>	=	Luftbelastung in Reinigungsmasch. in Gramm je Kubikzentimeter Raumluft
g/l	=	Schmutzbelastung des LM
GWh/a	=	Gigawattstunden pro Jahr
h	=	Stunde
kg	=	Kilogramm
kW	=	Kilowatt
kWh	=	Kilowattstunde
kWh/a	=	Kilowattstunden pro Jahr
kWh/l	=	erforderliche Energie zum Destillieren von 1 l Lösemittel
KWL	=	Kohlenwasserstoffe
l/h	=	Liter/Stunde als Maß für einen Durchfluss
LM	=	Lösemittel
m <sup>3</sup>	=	Kubikmeter
mg/m <sup>3</sup>	=	Konzentration eines Schadstoffs in Luft
MWh/a	=	Megawattstunden pro Jahr
Ø	=	Durchmesser
PA	=	Polyamid
t/a	=	Tonnen pro Jahr
TCE	=	Tetrachlorethen

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

## 1.0 Zusammenfassung

Das Entwicklungsvorhaben betraf die Reduzierung des Energiebedarfs von Reinigungsmaschinen. Diese Maschinen arbeiten mit Lösemitteln (LM) wie z. B. Tetrachlorethen (TCE) oder mit Kohlewasserstoffen (KW), die nach jeder Reinigungscharge destilliert werden. Ziel eines vorhergehenden Entwicklungsvorhabens war es, die erforderliche Heizleistung zum Destillieren um etwa  $\frac{1}{3}$  zu senken. Zur Realisierung wurde die übliche Destillierwanne durch eine beheizte Rohrwendel ersetzt, in der beim Durchlauf eine kontinuierliche Verdampfung des LM erfolgt. Der LM-Dam wird an geeigneten Positionen der Wendel abgenommen, steigt hoch und wird zum Verflüssigen in den Kondensator geleitet. Die erforderliche Anlage war jedoch zu groß. Gleichzeitig wurde erkannt, dass durch Änderung der Beheizung und der Führung des LM eine weitere Senkung des Energiebedarfs möglich wäre.

Diese Aufgabe wurde im vorliegenden FuE-Projekt dadurch gelöst, dass anstelle des Dampfkessels, in den die große Kupfer-Wendel ursprünglich eingebaut worden war, ein gewendeltetes Koaxialrohr benutzt wurde. In diesem Koaxialrohr fließt im inneren Rohr das zu destillierende LM, während Heißwasser oder Dampf mit einer Temperatur von  $\sim 130^{\circ}\text{C}$  im Gegenstrom, also von unten nach oben, durch das Außenrohr (Ringspalt) geführt wird, um das LM auf Verdampfungstemperatur von  $121^{\circ}\text{C}$  zu erhitzen. Das Innenrohr besitzt verschiedene Anschlüsse, durch die das Lösemittelgas entweichen kann und zur Verflüssigung in den Kondensator gelangt. Die erforderliche Kühlung des Destillats wurde dadurch erreicht, dass die Zuleitung des verschmutzten LM zur Destillationswendel durch den Kondensator geführt wurde, wodurch Wärmeenergie vom Lösemittelgas auf das zur Destillation fließende LM übertragen wurde.

Durch diese Maßnahmen konnten die genannten Ziele voll erreicht werden:

- Der Energieverbrauch zur Destillation wurde um 50% reduziert,
- Der Kühlwasserverbrauch sank um  $> 50\%$ ,
- Die Baugröße der Destillation in einer Wendel wurde durch Einsatz der koaxialen Wendel um 90% gegenüber dem ersten Prototyp und gegenüber den üblichen Destillationsbehältern um immerhin 60% reduziert.

Zusätzlich konnte eine erhebliche Reduzierung des Destillationsrückstandes erreicht werden, der durch kurze Hitzeentwicklung völlig frei von LM anfällt und deshalb mit dem Hausmüll entsorgt werden kann.

Die erfolgreiche Entwicklung der koaxialen Destillation bedeutet für die gesamte Reinigungstechnik eine echte Innovation. Dadurch werden wir für die

BÖWE-Reinigungsmaschinen erhebliche Marktanteile hinzugewinnen und möglicherweise sogar die Marktführerschaft erringen.

Zur internationalen Verbreitung der Vorhabensergebnisse besteht eine Planung, die den Einsatz entsprechender Werbemittel, Vorführungen, Vortragsveranstaltungen, die Darstellung im Internet sowie die Teilnahme an internationalen Messen vorsieht.

Das FuE-Projekt wurde durch die **Deutsche Bundesstiftung Umwelt** (DBU) unter dem **AZ 28738-21/2** gefördert.

## 2.0 Einleitung

Zur Reinigung von Textilien verfügt in der Zwischenzeit beinahe jeder Haushalt über eine Waschmaschine. Allerdings können nicht alle Textilien hiermit gewaschen werden. Gründe dafür sind die verwendeten Fasern, die in Wasser unterschiedlich quellen und dadurch zu Verzug führen können.

Textilfaser	Quellvermögen in %
Viskose	115
Baumwolle	43
Wolle	39
Seide	31
Polyamid (PA)	11

Tafel 1: Quellvermögen wichtiger Textilfasern

Gerade hochwertige Textilien wie Damenkostüme, Anzüge, Mäntel bestehen aus verschiedenen Stoffarten, die unterschiedlich quellen, wodurch die Gefahr besteht, dass sie beim Waschen ihre Form verlieren. Berufskleidung ist ebenfalls zu nennen, die oft mit öligen oder fettartigen Substanzen verunreinigt ist. In diesen Fällen muss mit Lösemitteln gereinigt werden, was deshalb als „chemische Reinigung“ bezeichnet wird. Gebräuchlichstes Lösemittel (LM) ist Tetrachlorethen (TCE), früher als Perchlorethylen oder kurz als „Per“ bezeichnet. Teilweise werden auch Kohlenwasserstoffe (KWL), wie n-Undekan, Isopar H, Shellsol T und Actrel Dry Clean 56 eingesetzt. Weitere neuartige Lösemittel, z.B. Rynex (ein Gemisch aus Propylenglykolether, Wasser und Reinigungsverstärkern), Green Earth (Cyclosiloxane) oder Pentylacetat befinden sich in der Erprobung.

In Wasch- und Reinigungsmaschinen besteht das Problem, dass viele Textilien nicht ausreichend farbecht sind. Sie bluten aus, d. h. die Farbe wird ausgewaschen und geht in das Reinigungsmedium über, das dadurch verfärbt wird. Diese Farbpigmente sowie der abgelöste Schmutz können bei weiteren Chargen auf die Textilien übertragen werden. Dabei ist mit folgenden Partikelgrößen zu rechnen: Der in jeder Reinigungsmaschine eingebaute Filter erfasst Partikelgrößen bis 30 [  $\mu\text{m}$  ]. Die Partikelgrößen der Färbemittel liegen je nach Färbeverfahren im Bereich von Molekülen bis einige [  $\mu\text{m}$  ]. Verfärbungen sowie Schmutzpartikel < 30 [  $\mu\text{m}$  ] werden jedoch von den eingebauten Filtern nicht erfasst. Bei Waschmaschinen wird deshalb für jeden Waschgang neues Wasser + Tenside verwendet. Bei Reinigungsmaschinen wird das gebrauchte Lösemittel (TCE oder KWL) grundsätzlich nach jeder Charge ausdestilliert, zwecks Verflüssigung gekühlt und anschließend wieder verwendet. Es findet also ein Kreislauf des LM statt.

Die Destillation der Lösemittel ist energieaufwendig. Eine kleine Reinigungsmaschine mit nur 18 [ kg ] Füllgewicht besitzt einen Destillierbehälter mit einem Volumen von 120 [ l ]. Die Destillierleistung beträgt 75 [ l/h ] bei einem Energiebedarf laut „Technische Daten“ im Prospekt von ~12,5 [ kWh ] Bei 8 Chargen pro Tag ist die Destillieranlage während der gesamten Arbeitszeit, auch in den Pausen, also ~10 [ h/d ] in Betrieb.

Dies führt zu einem Energieverbrauch von 125 [ kWh/d ] bzw. bei einer Auslastung der Maschine von 75% über das Jahr zu einem Jahresverbrauch von 165 [ MWh/a ].

**Ziel des Vorhabens war es daher, den Energieaufwand zur Destillation des LM in Reinigungsmaschinen erheblich zu reduzieren und gleichzeitig die Destilliereinrichtung wesentlich zu verkleinern.**

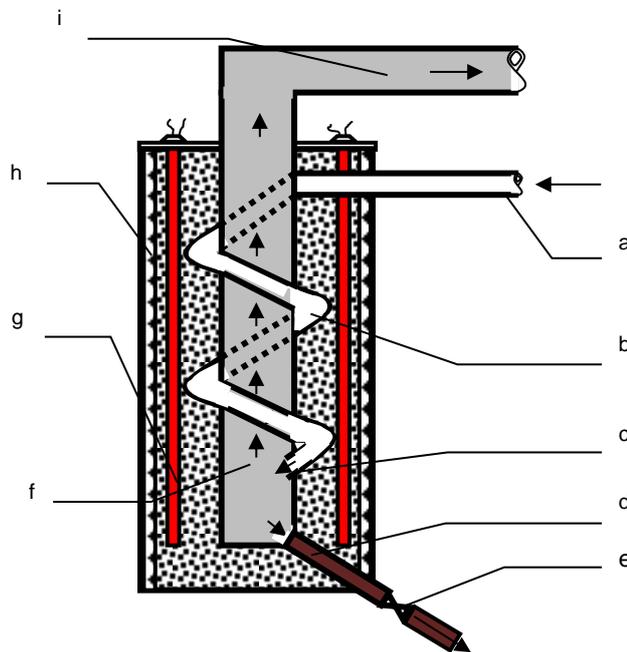
## **2.1 Ausgangssituation, Stand der Technik**

In einem vorangehenden Entwicklungsvorhaben wurde eine neuartige Destilliervorrichtung in Form einer Destillierwendel entwickelt, mit der die Heizleistung um  $\sim \frac{1}{3}$  gegenüber der konventionellen Destillation reduziert und die optimalen Temperaturen strikt eingehalten werden konnten. Zur Realisierung wurde die übliche Destillierwanne durch eine beheizte Rohrwendel ersetzt, in der beim Durchlauf eine kontinuierliche Verdampfung des LM erfolgt. Der LM-Dampf tritt an verschiedenen Stellen der Wendel aus, steigt hoch und wird zum Verflüssigen in den Kondensator geleitet. Zugleich wurde die Filtertechnik verbessert, sodass mit dieser Entwicklung folgende Ausgangssituation erreicht wurde:

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

Diese Einrohr-Wendel war aus Cu-Rohrstücken mit 3 Zoll  $\varnothing$  und 2 [mm] Wandstärke mittels Hartlötens zu einer sechseckigen Spirale zusammengesetzt worden. Die gestreckte Länge betrug  $\sim 12$  [m]. Die Wendel wurde zwecks Beheizung in einen Dampfkessel von 1200 [mm]  $\varnothing$  und 1600 [mm] Höhe eingebaut (Maße ohne Wärmeisolierung). Dies entspricht einem Volumen von 1,8 [ m<sup>3</sup> ]. Das Gewicht dieser Destilliereinrichtung beträgt etwa 150 [ kg ]. Die Einrichtung funktionierte entsprechend unseren Erwartungen. Es zeigte sich jedoch, dass sie in dieser Form nicht verkaufsfähig war. Als nachteilig wurden erkannt:

- zu hoher Materialverbrauch,
- aufwendiges Herstellverfahren der Destillierwendel,
- insgesamt zu hohe Herstellkosten (Siehe Abbildungen 1 und 2).



**Abbildung 1:** Prinzip der Wendel-Destilliereinrichtung

- a = Per-Zuleitung
- b = Destillierrohr (Fallrohr)
- c = Ausgang Per-Dampf u. Schmutz
- d = Schmutz-Abfluss
- e = Ventil für Schmutzabfluss
- f = Steigrohr
- g = Heizung, elektrisch oder Dampf
- h = Wärmeisolierung
- i = reines Per zum Kondensator

(Die Teilentgasungsströme, die durch Steigrohre in gewissen Bereichen der Wendel abgeleitet werden, sind nicht eingezeichnet.)



**Abbildung 2:** Dampfkessel mit eingebauter Destilliereinrichtung

In der rechten Bildseite sind die verschiedenen Ableitungen für verdampftes LM zu sehen. Am Boden des Behälters befindet sich eine Schwersiederheizung, um auch den letzten Rest an Lösemittel aus dem Rückstand auszutreiben. Der Dampfkessel wurde anschließend wärmeisoliert und dadurch noch unförmiger.

## 2.2 Projektziel

Projektziel war es, den Energieverbrauch zur Destillation von Lösemitteln, insbesondere von Tetrachlorethen (TCE) in Reinigungsmaschinen auf ~ 50% gegenüber der konventionellen Destillation zu reduzieren, den Destillations-Rückstand lösemittelfrei abzuscheiden und den hohen Materialverbrauch zur Herstellung von Destillationsanlagen durch Entwicklung einer kleineren Bauform zu minimieren. Weitere Energie sollte dadurch eingespart werden, dass die Restwärme aus der Destillation ebenfalls genutzt würde, z. B. für die Trocknung der Ware, so dass die Reinigungsmaschinen in Zukunft lediglich noch eine Heizeinrichtung benötigen würden. Außerdem sollte die Baugröße der Destilliereinrichtung erheblich reduziert werden.

## 3.0 Hauptteil

Diese Aufgabe sollte dadurch gelöst werden, dass anstelle des Dampfkessels nach Abbildg. 2, in den die Wendel eingebaut wurde, ein gewendeltes Koaxialrohr aus einer geeigneten Materialqualität benutzt werden sollte. Die Baugröße sollte klein genug sein, dass diese koaxiale Wendel direkt in die Reinigungsmaschinen eingebaut werden könnte. In diesem Koaxialrohr, würde im inneren Rohr das zu destillierende LM fließen. Heißwasser oder Dampf mit einer Temperatur von ~ 130°C sollte im Gegenstrom, also von unten nach oben, durch das Außenrohr (Ringspalt) geführt werden, um das LM bis zur Verdampfung bei max. 121 °C zu erhitzen.

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

Zu Beginn des Vorhabens wurde der im nächsten Abschnitt beschriebene Arbeitsplan aufgestellt. Diese Planung konnte im Wesentlichen eingehalten werden.

#### 3.1.1 Darstellung der einzelnen Arbeitsschritte

##### AS 1 Entwicklungsplanung

Der Terminplan sowie die genaue Aufgabenstellung für die einzelnen Mitarbeiter werden festgelegt, ebenso die Anforderungen an die Mess-, Steuerungs- und Sicherheitstechnik unter Berücksichtigung der Einbaumöglichkeit in die Reinigungsmaschinen der wichtigsten Hersteller.

##### AS 2 Konstruktion von bis zu 5 unterschiedlicher Koaxialwendel

Es werden bis zu 5 Koaxialwendel, bestehend aus einzelnen Teilwendeln, mit unterschiedlichen Rohr- und Wendeldurchmessern und -steigungen festgelegt, konstruiert und an verschiedene Hersteller zur Fertigung gegeben, um Versuche mit verschiedenen Wendelausführungen durchzuführen. Außerdem können damit die Fertigungsmöglichkeiten verschiedener Hersteller erkundet werden.

##### AS 3 Entwicklung der Beheizung mittels Heißwasser

Das Heißwasser, das durch das Außenrohr (= Ringspalt) geleitet werden wird, soll mit einem elektrisch beheizten Heißwassergerät erzeugt werden. Dieses Wasser wird im Kreislauf und entgegen der Durchlaufrichtung des Lösemittels geführt, der Druck soll 6 bar nicht überschreiten. Die entsprechenden Heißwassergeräte, Druck- und Temperaturwächter sind auszuwählen und zu erproben.

##### AS 4 Entwicklung der Verbindungstechnik

Die Verbindungen für den Heißwasserkreis, den beheizten Rückstandsbehälter sowie die Anschlüsse für den Lösemittelfluss müssen entwickelt werden. Im Heißwasserkreis ist der max. Druck von 6 bar zu beachten, in der Lösemittelleitung ist das aggressive Verhalten von heißem TCE bei > 125 °C zu berücksichtigen. Es sind entsprechend hochwertige Fittings,

auszuwählen evtl. auch selbst herzustellen, die mittels Hartlötverfahren oder Schweißen einzubauen sind. Es müssen gratfreie und absolut glatte Verbindungsstellen erzeugt werden.

**AS 5 Festlegung und Montage von Zapfstellen für den LM-Dampf**

Für die Ausleitung des verdampften Lösemittels sind die optimalen Zapfstellen aus dem Innenrohr der Wendel zu ermitteln. Wie bereits beschrieben sollen die Ausleitungen jeweils an den Wendelabschnitten erfolgen, die über die erforderlichen Anschlüsse verfügen. Für die Ausleitung des LM-Dampfes sollen zunächst zwei Zapfstellen in bestimmten Abständen eingebaut und an einen Kondensator angeschlossen werden.

**AS 6 Versuche zur Optimierung der Zapfstellen**

Bei den Versuchen wird die Wendel erstmals sowohl an den Heißwasserkreislauf, als auch an eine Lösemittleitung angeschlossen. Dann sollen die ausgewählten Einbaulagen für die Zapfstellen geprüft werden, in dem der Durchfluss des kondensierten Lösemitteldampfs an den verschiedenen Zapfstellen, sowie der Destillationsrückstand am Wendelende gemessen werden. Möglicherweise müssen neue Positionen für die Zapfstellen ausgewählt werden.

**AS 7 Ableitung und Untersuchung des Destillationsrückstandes**

Zunächst ist der einwandfreie Durchfluss des Rückstands aus dem Innenrohr zu erproben. Ggf. muss die Steigung der Wendel korrigiert werden. Für die kontrollierte Ableitung ist ein Magnetventil einzubauen. Der Rückstand, der nur noch aus Verunreinigungen  $< 30 \text{ [ } \mu\text{m ]}$  besteht, darf kein LM mehr enthalten. Deshalb wird der Rückstandsbehälter ebenfalls über die Heißwasserleitung erhitzt. Evtl. noch entstehender Lösemitteldampf wird zum Kondensator geleitet. Zum Nachweis sollen verschiedene Chargen abgezogen und getrennt auf Reste von LM untersucht werden. Dazu werden sie im Labor nochmals erhitzt. Die dabei auftretenden LM-Konzentrationen werden mit einem Gasphotometer gemessen. Das völlige Austreiben des Lösemittels aus dem Rückstand muss bei der endgültigen Ausführung durch ein externes Labor bestätigt werden.

**AS 8 Entwicklung und Herstellung eines Gehäuses für Prototyp**

Es wird ein Gehäuse entwickelt, in das eine Wärmeisolierung zwischen dem Außendurchmesser der Wendel und dem Gehäusemantel eingebaut wird, um Wärmeverluste zu minimieren und die Gehäusetemperatur aus Sicherheitsgründen möglichst niedrig zu halten. Ferner ist die Luftführung zum Trockner und wahlweise zur Desorption einschließlich der Steuerungsorgane einzubauen. Ein entsprechender Prototyp wird hergestellt.

**AS 9 Auswahl, Einbau und Erprobung der Sensorik**

Zur Überwachung der neuen Destillationsanlage werden Sensoren für Druck, LM-Durchfluss und die verschiedenen Temperaturen benötigt. Die Sensoren sind auszuwählen und einzubauen. Messbereiche, Funktionen und Schnittstellen sind zu überprüfen.

**AS 10 Entwicklung der Steuerungstechnik**

Für die Steuerung soll eine SPS eingesetzt werden. Die benötigten Programme sind zu entwickeln und zu erproben. Ferner sind Schnittstellen der Hard- und Software zu den Steuerungen der gebräuchlichsten Reinigungsmaschinen vorzusehen, so dass die neue Destillation bei Neu-, und Gebrauchsmaschinen problemlos angeschlossen werden kann.

**AS 11 Aufbau eines Prototyps, Funktionsnachweise**

Es wird eine Destillationsanlage als Prototyp komplett aufgebaut und erprobt. Nachzuweisen sind eine Destillationsleistung 150 [ l/h ] bei einem Energiebedarf von max. 10 [kWh]. Weitere Aufgaben sind: Prüfung des Destillationsrückstandes auf Lösemittelreste, Einfluss der Entnahme von Warmluft für den Trockner, Funktion der Mess- und Steuerungstechnik. Anschließend soll der Prototyp versuchsweise in eine Gebrauchsmaschine eingebaut und erprobt werden.

**AS 12 Tests, Fehlerbeseitigung, Verbesserungen;**

Es ist damit zu rechnen, dass bei der Erprobung noch Fehler und Verbesserungsmöglichkeiten entdeckt werden, die zu beseitigen bzw. einzubauen sind.

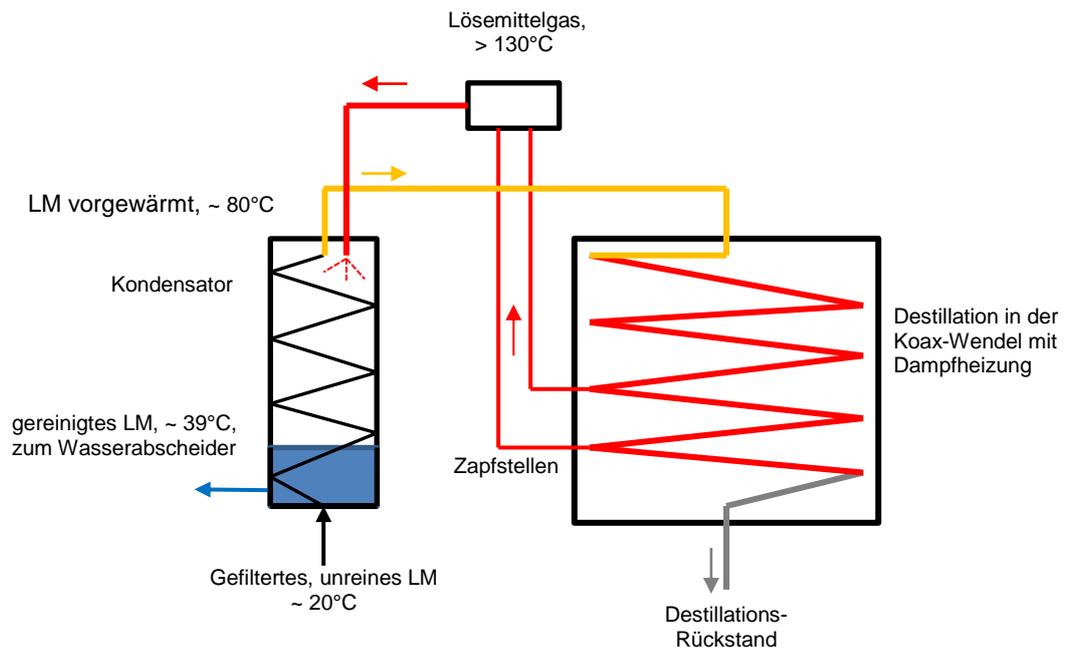
**AS 13 Dokumentation; Verbreitung der Ergebnisse**

Entwicklung von Montagehinweisen zum Einbau der neuen Destillation in Reinigungsmaschinen verschiedener Hersteller. Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse sind auszuwählen und durchzuführen.

### 3.1.2 Darstellung der angewandten Methoden

Zu Beginn der Entwicklung wurden Destillationswendel mit unterschiedlichen Rohrdurchmessern entwickelt und die Herstellmöglichkeiten mit dem Hersteller koaxialer Wendel, der Fa. SEAB GmbH in 63801 Kleinostheim diskutiert. Dieses Unternehmen stellt u. a. Koaxialwärmetauscher her. Dieser Kontakt führte zur Bestellung einer koaxialen Wendel mit den Außenmaßen 300 [mm] Ø und 700 [mm] Höhe, also mit ähnlichen Maßen, wie im Förderantrag angeführt. Ferner wurde die Beheizung mittels Heißwasser entwickelt sowie optimale Einbaulagen der Zapfstellen untersucht. Durch die Verbindung der Zapfstellen für Lösemittel-Gas mit einem Kondensator stellten wir die grundsätzliche Eignung des Prototyps für die Destillation fest.

Es war vorgesehen, das ausdestillierte Per-Gas im Kondensator wie üblich mittels Kühlwasser zur Kondensation zu bringen, wozu nur eine rel. kleine Abkühlung erforderlich ist, da sich das Lösemittel schon unterhalb von 121°C wieder verflüssigt. Wir versuchten deshalb gemäß dem Vorhabensziel, den Wärmeinhalt des LM-Gases dadurch zu nutzen, dass wir das zur Destillation vorgesehene, kalte LM aus der Reinigungstrommel zunächst zum Kühlen des Lösemittel-Gases im Kondensator verwendeten. Wir führten das kalte, verunreinigte, aber filtrierte Lösemittel deshalb in einer gewendelten Leitung durch den Kondensator. Ein Versuch war erfolgreich. Temperatur und Menge des aus der Reinigungstrommel zufließenden, kalten Lösemittels genügen zur Verflüssigung des Destillatdampfes. Dessen Wärmeenergie wird praktisch auf das kalte Lösemittel übertragen, so dass es schon mit erhöhter Temperatur zur Destillationswendel gelangt, wo dann zur Verdampfung entsprechend weniger Energie benötigt wird. Die bisher erforderliche Kühlwassermenge wird dadurch um > 50% reduziert. Der genaue Ablauf wird mit Hilfe der folgenden Abbildung 3 erläutert.



**Abbildung 3:** Prinzip der neuen Destillationseinrichtung für Lösemittel

Die lokal auftretenden Temperaturen sind farblich gekennzeichnet  
Schwarz = 20°C; Blau = 39°C; Orange = 80°C; rot = > 130°C

Das Lösemittel aus der Reinigungstrommel wird in einem speziellen Filter von Flusen und Schwebstoffen gereinigt, sodass es nur noch gelöste Verunreinigungen enthält, die ausdestilliert werden müssen. Dieses LM durchfließt den Kondensator und gelangt anschließend in die Destillationswendel, wo es bis zur Verdampfung aufgeheizt wird. Das Lösemittelgas wird an den Zapfstellen entnommen und zur Verflüssigung dem Kondensator zugeleitet. Hier findet ein Wärmeaustausch zwischen dem verunreinigten zugeführten LM mit 20°C und dem oben eintretenden LM-Gas mit 130°C statt, der dazu führt, dass sich das destillierte LM bis zum unteren Teil des Kondensators verflüssigt und über einen Wasserabscheider in den Reintank abgepumpt werden kann. Das verunreinigte LM dagegen verlässt den Kondensator oben schon mit einer Temperatur von etwa 80°C und gelangt in die Destillation, in der dann lediglich noch die rel. geringe Heizleistung zur weiteren Erhitzung bis auf 131°C aufgebracht werden muss. [1]

Die für die Versuche entwickelte Anordnung zeigt die folgende Abbildung 4.



Abbildung 4: Destillationseinrichtung gemäß Abbildung 3

Etwa in Bildmitte ist das gewendelte Koaxialrohr (8 Wendel) der Destillationseinrichtung gut zu erkennen. Aus dieser Wendel heraus nach oben führen drei Rohre, die wärmeisoliert sind und von den Zapfstellen zu einem Sammler führen, von dem das LM-Gas nach links zum Kondensator geleitet wird. Das verflüssigte LM gelangt dann in den darunter montierten Wasserabscheider, indem Wasser und Lösemittel aufgrund der unterschiedlichen Dichte getrennt werden (siehe Schauglas) und von dort in den Reintank, auf dem die Destillationseinrichtung steht.

Die Leistungsdaten (Durchfluss, Leistungsbedarf) wurden zwar bei diesem Entwicklungsstand noch nicht in vollem Umfang getestet, aber man konnte schon damals erwarten, dass das Entwicklungsziel hinsichtlich Größe und Materialverbrauch erreicht werden würde. Die in Abbildung 4 gezeigte Versuchsausführung hatte ein Gewicht von  $\sim 7$  [ kg ] und entsprach in der Des-

tillationsleistung einem Standard-Destillationssystem mit einem Gewicht von 150 [ kg ] bis 200 [ kg ]. In Fortführung der Entwicklungsarbeiten wurde die Versuchswendel entsprechend der Abbildung 4 in eine neue Reinigungsmaschine Typ BÖWE P18 nach Abbildung 5 (Beladekapazität 18 [ kg ]; Trommelinhalt 360 [ l ]; eingebaut.



Abbildung 5: Reinigungsmaschine Typ BÖWE P18, wie für die Destillationsversuche verwendet

Die Rückseite der Maschine mit den versuchsweisen Einbauten ist in den folgenden Abbildungen dargestellt. Dazu waren an der Maschine erhebliche Änderungen erforderlich. Schlammpumpe, Destillationsbehälter, Rotationfilter und Kondensator wurden ausgebaut und durch die neuen Komponenten Filter, Destillation in der coaxialen Wendel und Kondensator ersetzt. Es wurden drei Leitungsnetze eingebaut für

- Vorreinigung,
- Hauptreinigung sowie Filter reinigen und
- Lösemittel destillieren.

Dazu mussten neue Rohrleitungsschemen und Einbaupläne ausgearbeitet und anschließend in die Praxis umgesetzt werden.

In der folgenden Abbildung 6 ist in Bildmitte die Wendel zu sehen. Darüber senkrecht stehen die drei Ableitungen des gasförmigen Lösemittels, die

zum Kondensator links oben geführt werden. Zur Temperaturüberwachung wurden in diesem Bereich drei Messstellen eingebaut und zwar:

- T1 vor dem Eingang zum Kondensator/Vorwärmer,
- T2 am Ausgang des Kondensators,
- T3 am Ende des Steigrohrs.

Das kondensierte Lösemittel wird dann über einen Wasserabscheider geführt, der links unten, neben der Wendel eingebaut wurde.



Abbildung 6: Einbau der neuen Destillation in eine BÖWE Reinigungsmaschine Typ P18

Auf der rechten Bildseite ist ferner oben das Filter zu erkennen, dessen Filtrat (Schmutzpartikel) nach der Regeneration abgesaugt wird. Etwas unterhalb ist ein Vorfilter (mit schwarzer Keilriemenabdeckung) für die Destillationswendel installiert, um Ablagerungen in der Wendel zu verhindern. Rechts im Hintergrund ist die Reinigungstrommel mit Luftschacht zu erkennen. Ferner wurde ein Behälter für die Aktivkohle, der für die Dekontamination der Trockenluft erforderlich ist, eingebaut.

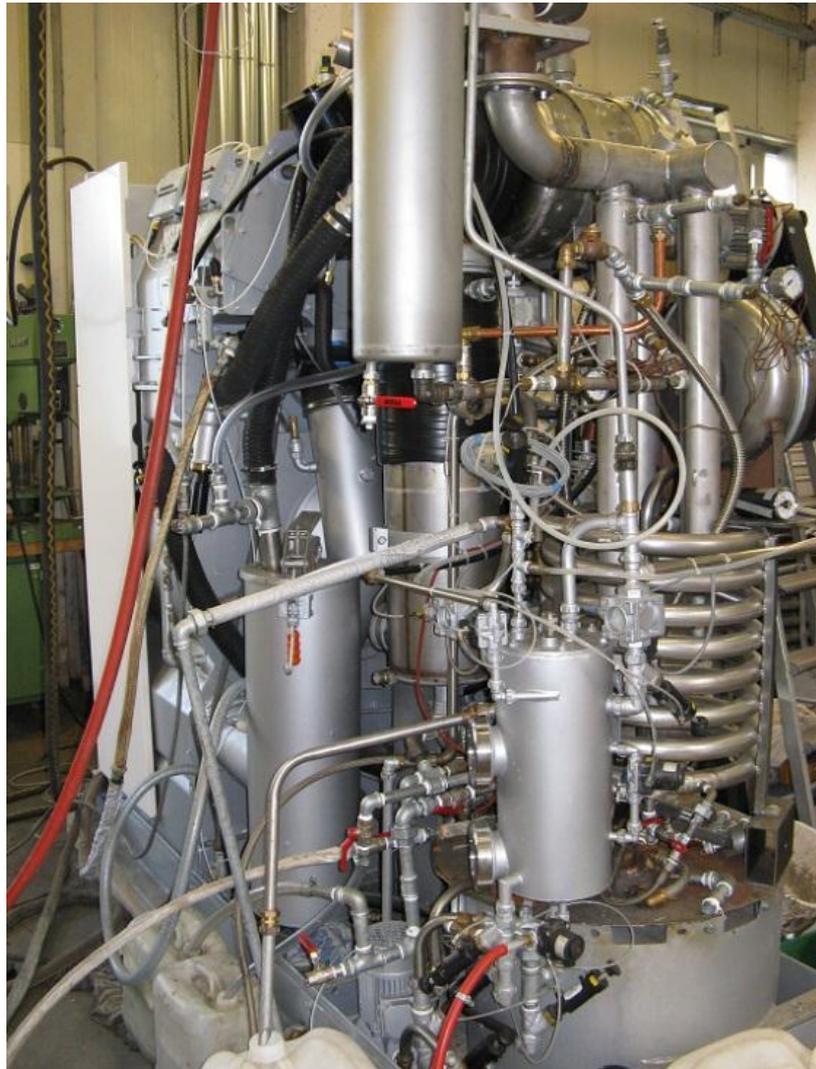


Abbildung 7: Blick von links auf die Destillationswendel und den Kondensator

In der Abbildung 7 ist die gleiche Maschine aus einem anderen Blickwinkel zu sehen. Rechts unten ist wieder die Wendel zu erkennen, von der die drei Ableitungen für das nach der Destillation noch gasförmigen Lösemittel nach oben führen. Sie münden in ein stärkeres Rohr, das etwa in Bildmitte nach oben zum Kondensator führt.

Das kondensierte Lösemittel wird dann über einen Wasserabscheider gelei-

tet, der rechts unten neben der Wendel eingebaut wurde. Das gereinigte Lösemittel fließt in den Reintank. Der zylindrische Behälter links unterhalb des Kondensators ist ein Flusenfilter, das für die Reinigung der Trockenluft erforderlich ist

Bei den Versuchen innerhalb der Versuchsmaschine, die jeweils über einen längeren Zeitraum gefahren werden konnten, ergaben sich große Unterschiede zu den zuvor durchgeführten, rel. kurzen Einzelversuchen. Der Kondensator, der zugleich als Vorwärmer für das verschmutzte LM genutzt wird, war ebenfalls ein Fabrikat der Firma SEAP. Wie sich aufgrund der schlechten Wärmeübertragung zeigte, war er entgegen unserer Forderung nicht mit einem Rippenwellrohr ausgerüstet. Er wurde durch einen Kondensator einer Standard-Reinigungsmaschine BÖWE P540 ersetzt, der zusätzlich über eine Entlüftungsleitung verfügt. Dieser Punkt ist deshalb von Bedeutung, weil mit dem SEAP-Kondensator im Dauerbetrieb lediglich eine Abkühlung des LM auf  $\sim 65^{\circ}\text{C}$  erreicht wurde. Bei Temperaturen im Bereich von  $60^{\circ}\text{C}$  ist Tetrachlorethen jedoch besonders aggressiv und kann beim Reinigungsgut sogar zu Verfärbungen führen.

Die Destillationswendel wurde alternativ mit Heißwasser und Dampf beheizt. Wie zu erwarten war, ergab sich kein eindeutiger Unterschied zwischen den beiden Heizmethoden. Wichtig ist vor allem, dass die Temperatur des Lösemittels nicht über  $130^{\circ}\text{C}$  ansteigt, was bei einer Heißwasserheizung einfacher und genauer geregelt werden kann. Von Bedeutung ist ferner, ein schneller Temperaturanstieg der Heizung, um eine Temperatur von  $130^{\circ}\text{C}$  zu erreichen, da die Verdampfungstemperatur für reines Tetrachlorethen von  $121^{\circ}\text{C}$  bei Aufnahme von Ölen und Fetten schnell auf  $> 130^{\circ}\text{C}$  ansteigt. [1]

Wenn der Durchfluss zu hoch eingestellt wird oder die Heizung ausfallen sollte, kann sich das Lösemittel in der Destillationswendel aufstauen. Zur Überwachung wurde ein kapazitiver Überfüllsensor der Firma Weigl Electronic in 82061 Neuried als Niveausonde eingebaut, die im Notfall die Lösemittelpumpe abschaltet. Ferner wurde das Verhältnis von Beheizungsleistung zum Lösemittelzufluss je Zeiteinheit untersucht, um eine Regelung für die optimale Verdampfung bei geringster Heizleistung zu erreichen.

Verbesserungen mussten am vorgeschalteten Filter vorgenommen werden, da Feststoffe im LM mit Partikelgröße  $> 30 [\mu\text{m}]$  zu Ablagerungen in der Wendel führten. Der Filter musste deshalb öfter gereinigt werden, wobei sich zeigte, dass das Vakuumtrocknen der Filterscheiben nicht ausreicht, um das Filtrat frei von LM zu erhalten.

Die endgültige Filterkonstruktion enthält jetzt einen Satz Filterscheiben in einem gasdichten Behälter. Zur Reinigung werden die Filter in Rotation versetzt, um den Schmutz abzuschleudern. Gleichzeitig wird Warmluft eingeblasen. Der Schmutz wird abgesaugt und über einem Rost getrocknet, bis er den Vorschriften für Hausmüll entspricht und dann entsprechend entsorgt werden kann. Die mit LM-Gasen belastete Trockenluft wird bis zur Kondensation abgekühlt. Bei Erreichen eines Grenzwertes der LM-

Konzentration in der Luft schaltet ein Ventil und leitet die noch gering belastete Luft über die Aktivkohle. Damit ist sichergestellt, dass die gesetzlich vorgeschriebene LM-Konzentration in der Umgebungsluft (MAK-Wert) von 270 [ mg/m<sup>3</sup> ] mit 125 [ mg/m<sup>3</sup> ] deutlich unterschritten wird. Das Filter kann zur periodischen Reinigung und Kontrolle geöffnet werden.

In den Reinigungsmaschinen werden den Reinigungsflotten je nach Bedarf Reinigungsverstärker und Lösungsvermittler mittels Dosierpumpen zugesetzt. Die Reinigungsverstärker enthalten Tenside wie Alkylsulfate und – sulfonate sowie Solfobernsteinsäureester und Oxäthylierungsprodukte, während die Lösungsvermittler längerkettige Alkohole, Äther, Ester und Amine enthalten. Weitere Additive, die dem Lösemittel zugesetzt werden, sind: Detachiermittel, Appretur, Imprägnur, Weichmacher, Antistatikum und Desinfektionsmittel. Diese Zusätze sowie Feststoffe < 30 µm sammeln und verdichten sich während der Destillation und bleiben im letzten Umlauf der Destillierwendel als dünnflüssige, dunkelbraune Brühe (Viskosität und Farbe ähnlich Coca-Cola), zurück. Dieser Rest, der noch LM enthält, bildet ein azeotropes Gemisch, d. h. das LM kann durch Destillation nicht weiter abgetrennt werden. Zum Austreiben letzter Lösemittelreste aus diesem Rückstand wird deshalb kurzzeitig (~ 1 min) Dampf eingeblasen. Dadurch verdampfen die LM-Reste beinahe explosionsartig. Sie gelangen über das nächst liegende Steigrohr in den Kondensator zur Verflüssigung. Der Nachteil dieser Methode besteht darin, dass dabei auch geringe Mengen an Feststoffen mitgerissen werden können. Die Einleitung von Dampf muss deshalb genau dosiert werden. [2]

Bereits im Förderantrag zum vorliegenden Projekt vom 30.07.2010 hatten wir auf Seite 4 mitgeteilt, dass wir die Firma Böwe Textile Cleaning GmbH übernommen und nach 77815 Bühl/Baden verlagert hatten, wobei die EU-Kriterien für KMU auch unter Einbezug dieser neuen Firma Böwe GmbH nach wie vor deutlich unterschritten werden. Böwe hat inzwischen die Produktion von Reinigungsmaschinen wieder aufgenommen. Wir erwarten bis April/Mai 2013 den ersten, verkaufsfähigen Prototyp mit dem neuen Destilliersystem fertigzustellen, an dem dann noch die entsprechenden Softwareänderungen vorzunehmen sind.

### 3.1.3 Darstellung der tatsächlich erzielten Ergebnisse

An einer neuen Reinigungsmaschine Typ P18 wurden Reinigungs- und Destillationsversuche mit konventioneller Destillation und nach Umbau mit der Destillation in der Wendel durchgeführt. Die technischen Daten der Maschine mit konventioneller Destillation lauten:

- Füllgewicht 18 [kg];
- Volumen des Destillationsbehälters: 120 [l];
- Destillationsleistung für erstes Bad: 50 [l/h]
- Entsprechender Energieverbrauch zu dieser Destillation: 6,9 [kWh] bzw. umgerechnet auf 100 [l/h]: Dauer 2 [h]; Energieverbrauch: 13,8 [kWh]

Tatsächlich steigt der Energiebedarf pro 100 [l/h] durch die Verschmutzung der Destillationsböden nach kurzer Zeit auf > 16 [kWh] an.

Der Energieverbrauch der neuen Destillation wurde über einen elektromechanischen Elektrizitätszähler (Energiezähler) gemessen und mit dem Verbrauch bei konventioneller Destillation in der gleichen Maschine verglichen. Dabei gelang, unabhängig von Heizverfahren der Destillationswendel (Dampf oder Heißwasser), der eindeutige Nachweis einer Energieeinsparung von über 50% gegenüber der konventionellen Destillationsmethode wie folgt:

- Destillationsleistung: 50 [l/h]
- Entsprechender Energieverbrauch zu dieser Destillation: 3,5 [kWh] bzw. umgerechnet auf 100 [l]: Dauer 2 [h]; Energieverbrauch: 7[kWh]

Der zuvor erwähnte Anstieg der Heizleistung bei konventioneller Destillation findet nicht statt. Auf der Destillationswendel kann sich kein fester Belag aufbauen, da die Partikel zuvor ausfiltriert werden. Der flüssige Rückstand fließt ab zum Ende der Wendel.

### 3.2 Diskussion der Ergebnisse

Das ausgezeichnete Ergebnis von 50% Energieeinsparung bei der LM-Destillation ist nicht nur auf die hervorragende Wärmeübertragung in der koaxialen Wendel zurückzuführen. Ein erheblicher Anteil konnte dadurch erreicht werden, dass die Funktion des Kondensators geändert wurde. Ein Kondensator ist prinzipiell ein Wärmetauscher, in dem eine Änderung des Aggregatzustandes erfolgt. In den Reinigungsmaschinen dient er dazu, das aus der Destillation kommende LM-Gas zu verflüssigen. Dazu wird die Wärme des LM-Gases auf das Kühlwasser übertragen. Nach unserer Entwicklung wird jedoch das Kühlwasser zu einem großen Teil durch das zufließende, kalte, verschmutzte LM ersetzt, d.h. es erfolgt eine Wärmeübertragung vom gasförmigen Destillat auf das zur Destillation zufließendem verschmutzte LM, wie in Abbildung 4 dargestellt. Zur weiteren Abkühlung des kondensierten Destillats genügt dann eine kleine Kühlschlange, um auf eine Temperatur von 25 bis 30°C zu kommen. [3]

Dieses Verfahren hat neben der beachtlichen Energieeinsparung auch eine Reduzierung des Verbrauchs an Kühlwasser zur Folge. Bei herkömmlichen Reinigungsmaschinen werden zur Kühlung von 50 [ l ] Lösemittel-Destillat etwa 150 bis 160 [ l ] Kühlwasser benötigt. Durch unser Wärmetauscher-Verfahren geht der Kühlwasserverbrauch auf 71 [ l ], d.h. auf weniger als die Hälfte zurück.

### 3.3 Ausführliche ökologische, technologische und ökonomische Bewertung der Vorhabensergebnisse

#### 3.3.1 Ökologische Bewertung

Durch den Einbau der neu entwickelten Destillationseinrichtung in die gebräuchlichen Reinigungsmaschinen ergeben sich die im Folgenden nachgewiesenen Verbesserungen und Umweltentlastungen. Dabei wird von einer mittelgroßen Maschinentyp mit einer Beladekapazität von 18 kg, der Maschine P18 der Firma BÖWE Textile Cleaning GmbH ausgegangen. Für diese Reinigungsmaschine werden folgende technische Daten angegeben:

Bezeichnung	Wert	Einheit
BÖWE-Maschinentyp	P18	
Lösemittel	Tetrachlorethen	
Füllmenge	18	kg
Trommelinhalt	360	l
Behältervolumen:		
Tank I	155	l
Tank II	100	l
Destillierbehälter	120	l
Öko-Filter	40	l
Elektr. Leistung (Destillation elektr. beheizt)	12	kW
Destillierdurchsatz (Durchfluss)	75	l/h
Energiebedarf für Destillation von 100 l	16,56	kWh

Tafel 2: Technische Daten einer Reinigungsmaschine  
(BÖWE Typ P18, Standardausführung)

Durch den Einbau der neu entwickelten Komponenten wird die erforderliche elektr. Energie zur Destillation und der Kühlwasserverbrauch um jeweils ~ 50% reduziert, während die übrigen Leistungsdaten erhalten bleiben.

Der Austrag an Destillationsrückstand bei der angeführten Reinigungsmaschine liegt im Durchschnitt bei etwa 8 [ g ] Feststoff + ~ 6 [ g ] anhaftendes LM je Liter Durchsatz. Dies ergibt bei 500 [ l ] Destillat an je 250 Tagen einen jährlichen Anfall von 1,750 [ t ] Rückstand mit einem LM-Gehalt von ~ 40%, die in einem speziellen Werk (Fa. Geiß Umwelttechnik in 89326 Offingen) zu LM und reinen Abfallstoff aufbereitet werden müssen, wobei je Tonne Altware ein Energiebedarf von etwa 400 [ kWh ] entsprechend 900 [ kWh ] je Maschine und Jahr zu berücksichtigen ist (nach [05], Seite 152). Dieser Wert bleibt beim folgenden Vergleich des Energiebedarfs unberücksichtigt. [4]

Bei Einsatz der Neuentwicklung entfällt die Entsorgung von Destillationsrückstand völlig, da wie beschrieben der Anteil an LM sofort mit Dampf angetrieben und über ein Aktivkohlefilter in den Kreislauf zurückgeführt wird, weshalb der LM-freie Rückstand lediglich als Hausmüll zu entsorgen ist.

Vergleich konventionelle zu Koax-Destillation	konventionell	Koax-Destill.	Jährl. Einsparg.	Einheit
<b>a) Elektrische Energie</b>				
Betriebsstunden pro Jahr bei 240 Arbeitstagen :	2000	2000		h/a
Energieverbrauch bei 500 l Destillat pro Tag	82,80	35,00		kWh/d
Energieverbrauch pro Jahr	165,6	70,00		MWh/a
Jährl. Energieeinsparung je Maschine			95,60	MWh/a
<b>b) Kühlwasser</b>				
Kühlwasserverbrauch bei 500 l Destillat pro Tag	1500	710		l/d
Kühlwasserverbrauch pro Jahr	3000,00	1.420,00		m <sup>3</sup> /a
Jährl. Ersparnis an Kühlwasser je Maschine			1.580,00	m <sup>3</sup> /a
<b>c) Destillationsrückstand zur Entsorgung</b>				
Rückstand je Tag bei 8 g/l und 6 g/l anhaft. Per	7,00	4,00		kg/d
Rückstand je Jahr bei 600 l Destillation pro Tag	1.750,00	* 1000,00		kg/a
Jährl. Einsparung an belastetem Rückstand			750	kg/a

Tafel 3: Vergleich der umweltrelevanten Daten bei der Destillation von LM  
 \*) dieser Rückstand ist frei von LM und kann als Hausmüll entsorgt werden

Auf die Berechnung einer CO<sub>2</sub>-Reduzierung wird verzichtet, da der aktuelle Beitrag der verschiedenen Energieformen (Kernkraft, regenerative Stromerzeugung, Kohle- Erdöl- und Gaskraftwerke) zur Erzeugung elektrischer Energie nicht bekannt ist.

Zur Abschätzung des gesamten ökologischen Potentials, das durch die in Rede stehende Entwicklung erschlossen werden kann, sollen die in den Tafeln 2 und 3 ermittelten Verbesserungen auf die in Deutschland betriebenen etwa 4 000 Textilreinigungsmaschinen mit einer Reinigungsleistung von durchschnittlich 20 kg umgerechnet werden.

Anzahl der Reinigungsanlagen in Deutschland	4000	Stück
Jährl. Energieverbrauch für 4 000 Masch.	700	GWh/a
jährl. Energieverbrauch zur Entsorg. d. Destillationsrückstands	4	GWh/a
Summe Energieverbrauch	704	GWh/a
Energieverbrauch nach Einfügrg. der Entwicklung	295	GWh/a
Energie für Entsorg. Destillationsrückstand	0	GWh/a
Gesamtes Einsparpotential:	409	GWh/a

Tafel 4: Berechnung der möglichen Energieeinsparung in Deutschland durch Einführung der neuartigen Destillationsmethode

In Australien und Neuseeland wird in Zukunft von den Reinigungsmaschinen erwartet, dass sie keinerlei lösemittelhaltige Emissionen verursachen. Das betrifft neben dem auch in Deutschland seit langem geltenden Emissionsschutz auch die Entsorgung von TCE-haltigen Rückständen aus der Destillation (umgangssprachlich als „Per-Schlamm“ bezeichnet).

### 3.3.2 Technologische Bewertung

Zu Beginn des Vorhabens sahen wir Schwierigkeiten in der Dimensionierung und Herstellung der koaxialen Wendel voraus. Diese Aufgabe konnte jedoch in Zusammenarbeit mit der Firma SEAB GmbH in 63801 Kleinstheim sehr gut gelöst werden.

Einen zusätzlichen Erfolg erzielten wir durch die Umgestaltung des Kondensators. Normalerweise wird die zur Verflüssigung des Destillats im Kondensator erforderliche Abkühlung mittels Kühlwasser erreicht. Bei unserer Entwicklung wird das zur Destillation gepumpte, verschmutzte und rel. kalte LM von der Reinigungstrommel durch den Kondensator geleitet und ersetzt dadurch das Kühlwasser zu über 50%. Da das verschmutzte LM dadurch, wie in Abbildung 1 gezeigt, bereits mit 80°C in der Destillationswendel ankommt, sinkt der Energiebedarf zur Verdampfung entsprechend und trägt dadurch zur erzielten, signifikanten Reduzierung des Energiebedarfs bei.

Ferner ist die enorme Verkleinerung des Destillieraggregats zu erwähnen, die ebenfalls zu den Entwicklungszielen gehörte. Die neue Destilliereinrichtung benötigt bei 300 [ mm ]  $\varnothing$  und einer Höhe von nur 700 [ mm ] entsprechend einem Volumen von  $\sim 50$  [ dm<sup>3</sup> ] nur noch einen Bruchteil der ursprünglichen Wendeldestillation nach den Abbildungen 1 und 2. Auch gegenüber den konventionellen Destillierbehältern, die z. B. bei der schon mehrfach zum Vergleich herangezogenen Reinigungsmaschine Typ Böwe P18 ein Volumen von 120 [ l ] besitzt, ergibt sich noch eine Reduzierung des Platzbedarfs um  $\sim 60\%$ . Ähnliche Verhältnisse sind bei den größeren Reinigungsmaschinen zu erwarten, die bei einer Beladepazität bis 50 [ kg ] bisher über Destillierbehälter von über 700 [ l ] verfügen.

### 3.3.3 Ökonomische Bewertung

Die in Tafel 3 gezeigten Unterschiede zwischen dem Energie- und Kühlwasserbedarf nach dem Stand der Technik und den durch unsere Entwicklung entstandenen, erheblichen Verbesserungen wirken sich mit den aktuellen Einzelkosten auf die Betriebskosten nach folgender folgende Tafel aus:

Kostenvergleich konventionelle Destillation zur neuen Koax-Destillation	konventionell	Koax-Destill.	Jährl. Einsparg.	Einheit
<b>a) Elektrische Energie</b>				
Energiekosten (ohne MWST)	0,22	0,22		€/kWh
Jährliche Energiekosten	36.432,00	15.400,00		€/a
Jährliche Ersparnis an Energiekosten			21.032,00	€/a
<b>b) Kühlwasser</b>				
Kosten für Kühlwasser	5,00	5,00		€/m <sup>3</sup>
Jährliche Kühlwasserkosten (ohne MWST)	15.000,00	7.900,00		€/a
Jährliche Ersparnis an Kosten für Kühlwasser			7.100,00	m <sup>3</sup> /a
<b>c) Destillationsrückstand zur Entsorgung</b>				
Entsorgungskosten v. LM-haltigem Rückstand	2,00	0,06		€/l
Entsorgungskosten bei 600 l Rückstand/Jahr	1200,00	*) 36,00		€/a
Jährl. Ersparnis an Entsorgungskosten			1.164,00	€/a
Jährl. Kosten	52.632,00	23.336,00		€/a
Jährl. Ersparnis an Betriebskosten			28.176,72	€/a

**Tafel 5:** Berechnung der jährlichen Kostenreduzierung für eine Reinigungsmaschine durch Einbau der neuartigen Destillationsmethode

\*) dieser Rückstand ist frei von LM und kann als Hausmüll entsorgt werden

Wie die Tafel zeigt, ist die jährliche Reduzierung der Betriebskosten aufgrund der neuen Destillationsmethode so groß, dass sich der Ersatz vorhandener Reinigungsmaschinen durch Maschinen mit der neuen Destilliereinrichtung innerhalb von max. drei Jahren amortisieren würde, zumal die Energiekosten in Zukunft noch weiter steigen dürften.

Abschließend zu diesem Kapitel darf nochmals auf die geringe Baugröße (ca. 60% kleiner als konventionelle Destillationseinrichtungen) und die damit verbundene Materialeinsparung hingewiesen werden.

### 3.4 Darlegung der Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse

Die erfolgreiche Entwicklung der koaxialen Destillation bedeutet für die gesamte Reinigungstechnik eine echte Innovation. Dadurch werden wir für die BÖWE-Reinigungsmaschinen erhebliche Marktanteile hinzugewinnen und möglicherweise sogar die Marktführerschaft erringen.

Zur internationalen Verbreitung der Vorhabensergebnisse besteht folgende Planung:

Bereits im Förderantrag zum vorliegenden Projekt vom 30.07.2010 hatten wir auf Seite 4 mitgeteilt, dass wir die Firma Böwe Textile Cleaning GmbH übernommen und nach 77815 Bühl/Baden verlagert haben. Böwe hat inzwischen die Produktion von Reinigungsmaschinen wieder aufgenommen. Wir möchten deshalb die entwickelte, energiesparende Destillationsmethode mit der koaxialen Wendel schnellstmöglich in die Produktion übernehmen. Zu diesem Zweck ging Ende des Jahres 2012 ein erster Prototyp nebst den erforderlichen Unterlagen (Zeichnungssatz) an die „Böwe Textile Cleaning Shanghai Ltd.“, um die Fertigung der Böwe-Reinigungsmaschinen auf die neue Destillation umzustellen. Gleichzeitig werden die Steuerung und die Bedienung der Maschinen verbessert. Die Bedienung wird auf Touchscreen umgestellt, wobei die neue Filter- und Destillationstechnik berücksichtigt wird. Die Maschine wird dann als „siebte Generation“ der Böwe-Reinigungsmaschinen weltweit auf den Markt gebracht. Parallel dazu werden die Ersatzteilkataloge überarbeitet.

Für den Vertrieb wird ein neu eingestellter Mitarbeiter eine webbasierte Präsentation ausarbeiten. Die gleichen Inhalte werden auch mehrsprachig als Druckversion hergestellt, um die Böwe-Händler, zurzeit weltweit 52 selbständige Handelsunternehmen, sowie unsere Kundschaft über die Neuentwicklung zu informieren.

Zusätzlich stellte der Geschäftsführer Frank Ziermann die neue Reinigungsmaschine Mitte Oktober 2012 bei Vortragsveranstaltungen in Neuseeland (Wellington und Auckland) vor und konnte dabei feststellen, dass sehr großes Interesse an energieeinsparenden Anlagen besteht.

Reinigungsmaschinen, die mit der neuen Destillation ausgerüstet sind, werden wir auf der „Texcare International Shanghai“ im November 2013 ausstellen.

(Die „Texcare International“ ist die Weltleitmesse der Wäscherei-, Reinigungs- und Miettextilien-Branche. Nur hier treffen alle vier Jahre die marktführenden Unternehmen auf die wichtigsten Entscheider, potenzielle Investoren und interessierte Fachbesucher aus aller Welt.)

## 4.0 Fazit

Aufgrund der umweltbelastenden Eigenschaften der Lösemittel hat sich die Firma Ziermann GmbH das Ziel gesetzt, Reinigungsmaschinen zu entwickeln, die emissionsfrei und energiesparend arbeiten und außer einem Elektro-Anschluss keine weiteren Hilfsenergien oder -mittel benötigen, also auch keinen Kühlwasseranschluss. Dafür besteht folgendes Konzept, dessen einzelne Komponenten in zeitlicher Folge realisiert wurden bzw. mit Punkt 4 „bedarfsgesteuerte Destillation“ und 5 „Reduzierung des Kühlwasserverbrauchs“ noch realisiert werden sollen:

1. Entwicklung eines gasdichten Edelstahl-Containers zur emissionsfreien und vollständigen Rückgewinnung des enthaltenen Lösemittels aus Altmaschinen, also auch von Lösemittelresten aus Schlauchbogen, Filtern usw., die durch das übliche Abpumpen nicht erfasst werden. Dieses Ziel wurde Anfang 2009 erreicht.
2. Entwicklung eines neuartigen, sehr effektiven Flusenfilters. Eine wichtige Neuheit dieses Filters besteht darin, dass die Filterkuchen lösemittelfrei entnommen und als Hausmüll entsorgt werden können. Dieses Ziel wurde im Jahr 2008 gemäß einer Untersuchung von Filterkuchen durch das UIS Umweltinstitut synlab GmbH Stuttgart erreicht.
3. Entwicklung einer neuartigen, energiesparenden Destillationsmethode, da erkannt wurde, dass die gebräuchlichen Destillationsbehälter folgende Nachteile aufweisen:
  - a. hoher Energieverbrauch zur Destillation des verunreinigten LM bei den derzeit gebräuchlichen Destillationseinrichtungen (Wanne oder Blase) aufgrund der ungünstigen Wärmeübertragung, die im Verlauf des Destillationsvorgangs zunehmend ungünstiger wird, da sich am Boden Schmutzstoffe absetzen, die die Destillationswanne allmählich gegenüber der Heizung thermisch isolieren,
  - b. die max. zulässige Temperatur von Per (150°C) wird deshalb bei der Destillation oft überschritten. Dadurch entsteht u. a. Salzsäure, die zu starker Korrosion an den Maschinen führt und damit ihre an sich hohe Lebensdauer erheblich einschränkt (besonders an älteren Maschinen deutlich zu erkennen)

Die entwickelte Destillationseinrichtung besteht aus einer koaxialen Wendel mittels Dampf im Außenrohr und Lösemittel im Innenrohr. Das Lösemittelgas wird durch Steigleitungen zur Verflüssigung geleitet. Der Energieverbrauch dieser neuartigen Destillationsmethode beträgt nur etwa 50% der für die Wannendestillation benötigten Energie. Der Destillationsrückstand besteht aus einer braunen, hochviskosen Flüssigkeit, die durch eine kurze Dampfbehandlung lösemittelfrei anfällt. (Entwicklung gefördert durch die DBU AZ 28738 wie beschrieben)

4. Entwicklung einer bedarfsgesteuerten Destillation: Um das LM immer wieder verwenden zu können, wird es nach dem Stand der Reinigungstechnik unabhängig vom seinem Verschmutzungsgrad bei jedem Reinigungsprozess zumindest einmal ausdestilliert. Da das LM aber keineswegs bei jeder Charge verfärbt oder verschmutzt wird und außerdem in jeder Reinigungsmaschine ein hoher Aufwand zur fortlaufenden Ausfiltrierung von abgelösten Schmutzstoffen betrieben wird, wäre es an sich keinesfalls erforderlich, das LM nach jeder Vorreinigung zu destillieren, sofern es nicht verfärbt oder anderweitig verschmutzt ist.

Anfang des Jahres 2013 wurde deshalb mit der Entwicklung eines Verfahrens zur Detektion von Verunreinigungen in den wichtigsten Lösemitteln TCE und KW begonnen. Damit soll eine bedarfsorientierte Destillation möglich werden, die zu einer weiteren Senkung des Energieverbrauchs und des Destillationsrückstands führen wird.

5. Entwicklung einer Kühleinrichtung bei der möglichst vollständig auf die Nutzung von Kühlwasser verzichtet wird. Außer zur Abkühlung des Destillats wird eine Kühlung auch im Trocknungskreislauf der Reinigungsmaschine benötigt, da hier das Lösemittel aus dem Reinigungsgut entfernt wird. Dieser Lösemitteldampf wird bisher ebenfalls unter Verwendung von Kühlwasser kondensiert. Diese Entwicklung soll durch geeignete Übertragung der Wärmeenergien innerhalb der Reinigungsmaschine, evtl. verbunden mit einem kleinen Kühlblock erreicht werden.

Da das Kühlwasser oft aus dem Trinkwassernetz entnommen wird, wäre ein völliger Verzicht auch ökologisch von Bedeutung und zwar vor allem im Export. Wie uns bekannt wurde, ist in den USA und in Australien der Verbrauch von Wasser für Kühlzwecke inzwischen verboten.

Die Entwicklung einer kühlwasserfreien Reinigungsmaschine ist nach Abschluss der unter Pos. 4 angeführten Entwicklung eingeplant.

## 5.0 Literaturverzeichnis

- [01] Daten zur Stoffidentifikation "Tetrachlorethen (Per)"  
herausgegeben vom Bayerischen Landesamt für Umweltschutz
  
- [02] Taschenbuch "Textilreinigung";  
herausgegeben von der BÖWE Textile Cleaning GmbH
  
- [03] Walter Hemming; Verfahrenstechnik; 7. Auflage  
Vogelverlag Würzburg
  
- [04] 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

