

INVESTITIONEN ZUR VERMINDERUNG VON UMWELTBELASTUNGEN  
PROGRAMM DES BUNDESMINISTERS FÜR UMWELT, NAUTRSCHUTZ  
UND REAKTORSICHERHEIT

Energieeinsparung

Abschlußbericht 50441 – 5/224  
Vorhaben-Nr. 20101

Errichtung einer innovativen Teilereinigung mit integrierter Vakkumtrocknung im  
Betrieb einer Härtere

von  
Marco. C. Jost  
und  
Rainer Peters

Carl Gommann KG  
Remscheid (Nordrhein-Westfalen)

Geschäftsführer  
Marco C. Jost

IM AUFTRAG  
DES UMWELTBUNDESAMTES  
Oktober 2009

### Berichts-Kennblatt

<b>1. Berichtsnummer</b> UBA 50 441– 5/224	<b>2.</b> Energieeinsparung	<b>3.</b>
<b>4. Titel des Berichtes</b> Errichtung einer innovativen Teilereinigung mit integrierter Vakkumtrocknung im Betrieb einer Härterei		
<b>5. Autor(en), Name(n), Vorname(n)</b> Marco C. Jost Rainer Peters	<b>8. Abschlußdatum</b> 31.12. 2008	
	<b>9. Veröffentlichungsdatum</b> 02.10.2009	
<b>6. Durchführende Institution (Name, Anschrift)</b> Carl Gommann KG Dreiangelstr. 29 42855 Remscheid	<b>10. Vorh.-Nr.</b> 20101	
	<b>11. Seitenzahl</b> 27	
<b>7. Fördernde Institution (Name, Anschrift)</b> Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau	<b>12. Literaturangaben</b>	
	<b>13. Tabellen und Diagramme</b> 4	
	<b>14. Abbildungen</b> 5	
<b>15. Zusätzliche Angaben</b>		
<b>16. Kurzfassung</b> Die Carl Gommann KG bietet als Dienstleistungsunternehmen Wärmebehandlungen an. Die Carl Gommann KG hat ein umweltfreundliches, emissionsarmes und energiesparendes Reinigungsverfahren für großformatige Getriebezahnräder sowie für lange, schlanke Bauteile entwickelt und in Betrieb genommen. Die Zahnräder werden in einem geschlossenen System gewaschen und durch ein integriertes Vakuumsystem getrocknet. Das beim Trocknen verdampfte chlorfreie Waschmedium wird zum weitaus überwiegenden Teil rekondensiert. Mit dieser integrierten Maßnahme entfällt der Energiebedarf für das Trocknen nahezu vollständig, da eine Erwärmung der Bauteile entfällt (TNV entfällt) (Einsparung von 789 MWh/a gegenüber einer konventionellen Anlage), zusätzlich kann der Waschmittelverbrauch um ca. 58 % reduziert werden und die Lösemittlemissionen sinken um 99,98 % entsprechend 8.350 kg/a.		
<b>17. Schlagwörter</b> Härterei, Energieeinsparung, Reinigung von Metallteilen, Vakuumtrocknung, VOC-Reduzierung.		
<b>18.</b>	<b>19.</b>	<b>20.</b>

## Report-Coversheet

<b>1.</b> UBA 50 441– 5/224	<b>2.</b> Energy saving	<b>3.</b>
<b>4. Report Title</b> The installation of an innovative cleaning machine with integrated vacuum drying system in a heat treatment shop		
<b>5. Author(s), Family Name(s), First Name(s)</b> Marco C. Jost Rainer Peters		<b>8. Report Date</b> 31.12.2008
		<b>9. Publication Date</b> 02.10.2009
<b>6. Performing Organisation (Name, Adress)</b> Carl Gommann KG Dreielstr. 29 42855 Remscheid		<b>10. Report-Nr.</b> 20101
		<b>11. No. of Pages</b> 27
<b>7. Sponsoring Agency (Name, Anschrift)</b> Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau		<b>12. No. of References</b>
		<b>13. No. of Tables, Diag.</b> 4
		<b>14. No. of Figures</b> 5
<b>15. Supplementary Motes</b>		
<b>16. Abstract</b> Carl Gommann KG offers as a service heat treatments. Carl Gomman KG has an environmetally friendly, low-emission and energy-saving cleaning machine for large ring-gears and for a long, slender components developed and started up. The ring gears are washed in a closed system and with an integrated system of vacuum dried. During the drying the evaporated chlorinfree washing medium becomes much grater part recondens. With this step eliminates the energy requirements for drying (Savings of 789 MWh/a – a compared to a conventional plant). The washingmedium can be reduced by 58% and the solvent emissions to fall to 99.98% according 8.350kg/a.		
<b>17. Keywords</b> Hardening, Cleaning of components, Vaccum drying, VOC-reduction.		
<b>18.</b>	<b>19.</b>	<b>20.</b>

## Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungs- und Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>5</b>
<b>Vorwort</b> .....	<b>6</b>
<b>Kurzfassung</b> .....	<b>6</b>
<b>Summary</b> .....	<b>7</b>
<b>Das Unternehmen</b> .....	<b>8</b>
<b>1. Einführung</b> .....	<b>9</b>
1.1 Ausgangslage.....	9
1.2 Projektziel.....	11
<b>2. Nachweisführung (Kontrolle der Projektziele)</b> .....	<b>20</b>
2.1 Methode.....	20
2.2 Ergebnisse.....	20
2.2.1 Energieeinsparung und CO <sub>2</sub> -Einsparung.....	20
2.2.2 Lösemittelreduktion.....	21
2.2.3 Waschmittelreduzierung.....	22
2.2.4 Reinigungsleistung.....	22
<b>3. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung</b> .....	<b>23</b>
3.1 Investitionen.....	23
3.2 Abschätzung der Einsparung.....	25
3.3 Amortisationszeit.....	25
<b>4. Zusammenfassung</b> .....	<b>26</b>
<b>5. Verbreitung und weitere Anwendung der Anlage</b> .....	<b>28</b>

## Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1: Ofenanlagen, Härterei Carl Gommann GmbH.....	8
Abbildung 2: Ofenanlagen mit Getrieberädern, Härterei Carl Gommann GmbH.....	8
Abbildung 3: Getrieberad.....	12
Abbildung 4: Konventionelles Verfahren.....	14
Abbildung 5: Vacuclean-Plus Verfahren.....	17
Tabelle 1: Messung Gesamtkohlenstoff.....	21
Tabelle 2: Übersicht über geplanten Investitionen.....	23
Tabelle 3: Übersicht der tatsächlich getätigten Investitionen.....	24
Tabelle 4: Amortisationszeit Geplant versus Tatsächlich.....	26

## **Vorwort**

Das in diesem Bericht beschriebene Projekt „Errichtung einer innovativen Teilereinigung mit integrierter Vakkumtrocknung im Betrieb einer Härtereï“ bedeutet für die Firma Carl Gommann KG vor allem deutliche Umweltentlastungseffekte, eine Qualitätsverbesserung sowie hohe Kosteneinsparungen bezüglich des Reinigungsergebnisses.

Das Projekt konnte Dank der unterstützenden Anteilsfinanzierung durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Rahmen des Umweltinnovationsprogrammes realisiert werden.

Für die Unterstützung vor und während des Projektes soll der Effizienz-Agentur NRW, insbesondere Herrn Andreas Kunsleben und Herrn Marcus Lodde gedankt werden.

## **Kurzfassung**

Die Carl Gommann KG bietet als Dienstleistungsunternehmen Wärmebehandlungen an. Die Carl Gommann KG hat ein umweltfreundliches, emissionsarmes und energiesparendes Reinigungsverfahren für großformatige Getriebezahnräder sowie für lange, schlanke Bauteile entwickelt und in Betrieb genommen. Die Zahnräder werden in einem geschlossenen System gewaschen und durch ein integriertes Vakuumsystem getrocknet. Das beim Trocknen verdampfte chlorfreie Waschmedium wird zum weitaus überwiegenden Teil rekondensiert. Mit dieser integrierten Maßnahme entfällt der Energiebedarf für das Trocknen nahezu vollständig, da eine Erwärmung der Bauteile entfällt (TNV entfällt) (Einsparung von 789 MWh/a gegenüber einer konventionellen Anlage), zusätzlich kann der Waschmittelverbrauch um ca. 58 % reduziert werden und die Lösemittlemissionen sinken um 99,98 % entsprechend 8.350 kg/a.

## **Summary**

Carl Gommann KG offers as a service heat treatments. Carl Gomma KG has an environmentally friendly, low-emission and energy-saving cleaning machine for large ring-gears and for a long, slender components developed and started up. The ring gears are washed in a closed system and with an integrated system of vacuum dried. During the drying the evaporated chlorinfree washing medium becomes much grater part recondens. With this step eliminates the energy requirements for drying (Savings of 789 MWh/a – a compared to a conventional plant). The washingmedium can be reduced by 58% and the solvent emissions to fall to 99.98% according 8.350kg/a.

## Das Unternehmen

Die Härterei Carl Gommann wurde im Jahr 1860 gegründet und ist heute ein modernes ISO 9001 zertifiziertes und mit dem Umweltsiegel ÖKOPROFIT ausgezeichnetes Unternehmen, das mit ca. 110 Mitarbeitern einen Jahresumsatz von 14 Mio. Euro erwirtschaftet (2007). Das Unternehmen wird mittlerweile in der 5. Generation zu 100 Prozent im Familienbesitz geführt.



Abbildung 1: Ofenanlagen, Härterei Carl Gommann GmbH

*Bildquelle: Härterei Carl Gommann GmbH*



Abbildung 2: Ofenanlagen mit Getrieberädern, Härterei Carl Gommann GmbH

*Bildquelle: Härterei Carl Gommann GmbH*



Im Laufe der Jahre hat sich die Firma zu einem weltweit anerkannten Spezialisten im Bereich der Härteverfahren, insbesondere für Werkstücke mit Sonderabmessungen, entwickelt. Durch verschiedene Verfahren der Wärmebehandlung (Nitrieren im Ammoniakgasstrom, Gasnitrocarburieren, Plasmanitrieren, Spannungsarmglühen, Vergüten unter Formzwang) werden die Gebrauchseigenschaften hochwertiger Werkstücke aus Stahl oder Gusseisen entscheidend verbessert.

Neben dem eigentlichen Härten ist die Vorbehandlung durch Reinigung und Trocknung der Werkstücke ein qualitätsentscheidender Verfahrensschritt. Bisher werden in einer Durchlaufwaschanlage pro Jahr etwa 1.200 t Werkstücke behandelt, wobei in dieser Anlage überwiegend kleinere Bauteile mit Gewichten von weniger als 50 kg und in geringen Stückzahlen Bauteile bis zu max. 500 kg gewaschen werden.

## **1. Einführung**

### **1.1 Ausgangslage**

Durch verschiedene Verfahren der Wärmebehandlung (Nitrieren im Ammoniakgasstrom, Gasnitrocarburieren, Plasmanitrieren, Spannungsarmglühen, Vergüten unter Formzwang) werden die Gebrauchseigenschaften hochwertiger Werkstücke aus Stahl oder Gusseisen entscheidend verbessert. Die Produktpalette ist einem ständigen Wandel unterworfen. So soll unter anderem zukünftig ein Schwerpunkt auf der Behandlung von Getriebezahnrädern für Windkraftanlagen liegen, die durch ihre Abmessungen von bis zu 2200 mm Durchmesser und den großen Stückzahlen nicht in herkömmlichen Härteöfen behandelt werden können. Hierfür wird eine weitere Nitrierhalle mit einer Fläche von ca. 2.000 m<sup>2</sup> gebaut. Für diese Halle ist eine Reinigungsanlage für die Werkstücke geplant.

Prinzipiell durchlaufen die zu behandelnden Werkstücke im Betrieb folgende Produktionsschritte:

#### Wareneingang

Anlieferung mit LKW

Verwiegung

### Vorbehandlung

Waschen  
Trocknen  
Abdecken

### Härten (eines der folgenden Verfahren)

Nitrieren im Ammoniakgasstrom  
Gasnitrocarburieren  
Plasmanitrieren

### Weitere Behandlungsverfahren (nicht in der neuen Halle)

Hinweis: hierfür ist kein Waschen erforderlich

Spannungsarmglühen  
Vergüten unter Formzwang

### Nachbehandlung

Wasserstrahlen  
Glasperlenstrahlen (wenn erforderlich)

### Qualitätskontrolle

### Warenausgang

Verpacken  
Versenden

Die von den Herstellern zum Härten angelieferten Werkstücke weisen ein breites Spektrum an Verschmutzungen auf. Unter anderem sind die Teile mit Korrosionsschutzmitteln auf Fettbasis oder Kühlschmierstoffen aus der Bearbeitung behaftet. Diese Schichten müssen vor dem Härteprozess entfernt werden. Üblicherweise wird hierfür ein Reiniger auf Chlorkohlenwasserstoffbasis (CKW) verwendet. Bereits vor Jahren hat man bei der Firma Gommann einen umweltverträglicheren Ersatz gefunden. Die Teile werden nun mit einem Reinigungsmedium, bestehend aus einem 100 %-igen Kohlenwasserstoffreiniger (chlorfrei) und einem geringen Wasseranteil, gewaschen (verwendetes Produkt: Spirdane D 60 der Firma JULIUS HOESCH DÜREN).

Die Effektivität des Waschvorgangs und der anschließenden Trocknung hat entscheidenden

Einfluss auf die späteren Produktqualität und den Härteerfolg. Bestimmte Sektionen der Bauteile die nicht gehärtet werden sollen (Gewinde u.ä.), müssen vor dem Härten mit einer Paste abgedeckt werden, was nur bei absolut trockenen Oberflächen funktioniert. Für das Härteverfahren sind saubere Oberflächen erforderlich, um ein gleichmäßiges Härteergebnis sicherstellen zu können. Nicht ausreichend gereinigte Werkstücke weisen außerdem nach dem Härten Schlieren auf und müssen mit einem Glasperlenstrahlverfahren nachbearbeitet werden. Die Fehlerquote nach dem Härten hängt hierbei direkt mit der Qualität des Waschens und Trocknens zusammen. Reste von öligen Beschichtungen die durch unzureichende Reinigung nicht vollständig entfernt wurden, führen zudem zu Problemen in den Härteöfen. Bei Prozesstemperaturen von über 500°C verdampfen die anhaftenden Öle und Verschmutzungen, beeinflussen den Härteprozess und führen wiederum zu Verschmutzungen der Öfeninnenwände und der Werkstücke. Der verwendete Reiniger unterliegt als leichtflüchtiges organisches Lösemittel der 31. BImSchV („Lösemittelverordnung“). Aufgrund der Qualitätsanforderungen an die Sauberkeit der Teile ist der Reiniger nicht zu substituieren, wie sich in zahlreichen Versuchen gezeigt hat. Bisher erfolgt das Waschen und Trocknen in einer Durchlaufwaschanlage mit anschließender Heißlufttrocknung. Größere Teile müssen bisher im Tauchverfahren gereinigt und anschließend von Hand getrocknet werden. Größere Stückzahlen sind so nicht effektiv zu realisieren. In Hinblick auf die Anforderungen der 31.BImSchV zur Begrenzung der Lösemittlemissionen aus gefassten Quellen und diffusen Emissionen, sind effektive Maßnahmen zur Abluftbehandlung und Kapselung bei einer neuen Reinigungsanlage erforderlich. Der Verbrauch des Reinigungsmediums durch Verschleppungen, bzw. den Austrag über den Luftpfad, soll ebenfalls so gering wie möglich gehalten werden.

## **1.2 Projektziel**

Zukünftig soll die Produktion deutlich auf den Bereich der Behandlung großformatiger Getriebezahnräder für Windkraftanlagen und besonders langer Bauteile wie z.B. Wellen mit etwa 11.000 t/a ausgeweitet werden. Hierfür wurde eine Erweiterungsinvestition in Höhe von ca. 6,5 Mio. Euro für den Bau einer neuen Nitrierhalle beschlossen. Im Rahmen der Erweiterung ist auch die Errichtung einer neuen Anlage zur Teilereinigung geplant, die folgenden Anforderungen genügen muss:

- Größe der Bauteile
 

Getrieberäder	bis ca. 3,6 t und 2200 mm Durchmesser
Wellen	bis ca. 6 t und 7000 mm Länge
Sonderbauteile	bis ca. 20 t
  
- Senkrechte Aufstellung der Werkstücke  
bei Getrieberädern befinden sich schöpfende Bohrungen auf beiden Seiten der Planflächen
  
- unterschiedlicher Trocknungsgrad
 

Getrieberäder	absolut trocken um Pastenauftrag zu ermöglichen
Wellen	geringe Restfeuchte um Handpolieren zu ermöglichen
  
- Durchsatz  
etwa 11.000 t/a
  
- minimaler Energieaufwand
  
- minimaler Waschmittelverbrauch
  
- minimale Lösemittlemissionen (31.BImSchV)

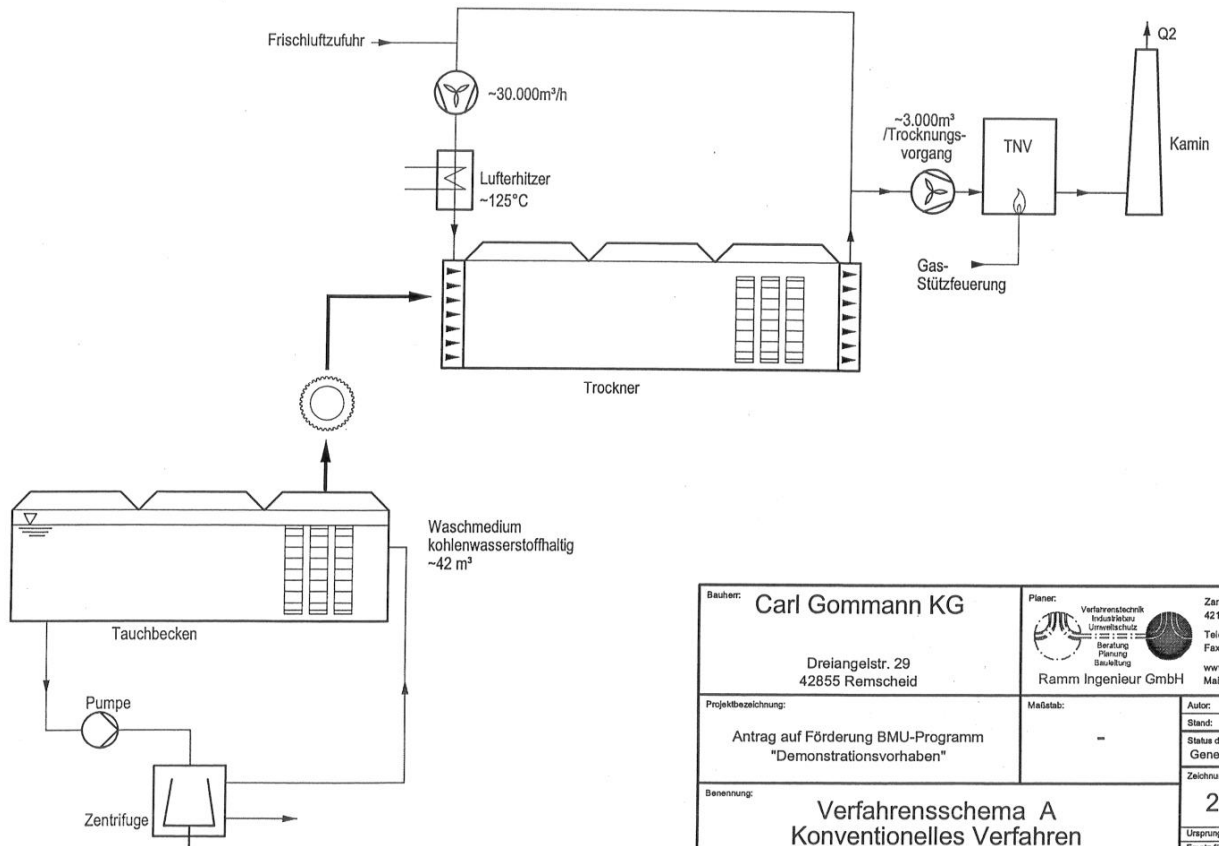


**Abbildung 3: Getrieberad**

Für die erforderliche Reinigung der Werkstücke war eine neue technische Lösung zu finden, da es bisher keine vergleichbaren Anlagen gibt in denen sowohl Teile mit so großen Durchmessern als auch in so hohen Stückzahlen gereinigt werden können. Auf die Verwendung von chlorhaltigen Waschmitteln soll aus Umweltaspekten auch weiterhin verzichtet werden.

Nach sorgfältiger technologischer Vorauswahl kommen zwei Verfahren zur Oberflächenreinigung in die engere Wahl, die nachfolgend skizziert werden.

## A. Konventionelles Verfahren



<b>Bauherr:</b> Carl Gommann KG Dreieckelstr. 29 42855 Remscheid		<b>Planer:</b> Verfahrenstechnik Industriehygiene Umweltschutz Beratung Planung Bauüberwachung <b>Ramm Ingenieur GmbH</b> Zamenhofstraße 12 42109 Wuppertal Telefon: 0202 - 83011 Fax: 0202 - 899 891 www.ramm-umwelt.de Mail: info@ramm-umwelt.de	
<b>Projektbezeichnung:</b> Antrag auf Förderung BMU-Programm "Demonstrationsvorhaben"		<b>Maßstab:</b> -	
<b>Benennung:</b> Verfahrensschema A Konventionelles Verfahren		<b>Zeichnung Nr.:</b> 2963-001	
<small>Für diese Unterlagen behalten wir uns alle Rechte vor, auch für den Fall der Patentierung oder Gebrauchsmusteranmeldung. Sie darf ohne unsere vorherige schriftliche Genehmigung weder ververvielfältigt noch sonstwie benutzt oder Dritten zugänglich gemacht werden.</small>		<b>Status der Zeichnung:</b> Genehmigungszeichnung <b>Ursprung:</b> Ersetzt für: Erweitert durch:	

**Abbildung 4: Betriebssicheres Reinigungsverfahren mit Tauchbecken, separater Heißlufttrocknung und Abluftbehandlung über eine thermische Nachverbrennung**

Für die konventionelle Variante einer Neuanlage, müssten die großformatigen Werkstücke um die Reinigungsleistung zu erzielen im erwärmten Waschmedium, in einem Tauchbecken mit entsprechenden Abmessungen gewaschen werden. Hierfür müssen die Werkstücke außerhalb des Beckens auf einem Gestell platziert werden, was dann in das Tauchbecken gehoben wird. Die Getriebezahnräder müssen senkrecht chargiert werden, damit das Waschmedium in die Bohrungen auf beiden Planflächen laufen kann und nach dem Waschen auch gut aus den Bohrungen wieder ablaufen kann. Für die anschließende Trocknung wäre die Erwärmung der Bauteile auf etwa 110°C durch Heißluft in einer separaten Trockenkammer/Trockenbecken erforderlich, da nur so die Flüssigkeitsreste in Bohrungen und Gewinden in einer angemessenen Zeit verdunsten können. Hierfür wird das Gestell aus dem Tauchbecken gehoben und nach einer Abtropfzeit in das Trockenbecken eingesetzt. Durch die zirkulierende Heißluft (ca. 30.000 m<sup>3</sup>/h) werden die entstehenden Lösemitteldämpfe aus dem Trockenbecken ausgetragen. Der Austrag der Lösemittel aus dem Kreislaufsystem erfolgt durch Ableitung eines Teilstroms von ca. 3.000 m<sup>3</sup>/h zur Abluftbehandlung. Die Trocknung mit Heißluft führt nicht immer zu befriedigenden Ergebnissen, da die stellenweise verbleibende Restfeuchte die Anzahl der fehlerhaften Teile nach dem Härten erhöht (Schlieren). Es ist mit einem erhöhten Aufwand für die Nachbearbeitung durch Glasperlstrahlen zu rechnen.

Für die Abluftbehandlung wäre aufgrund der Volumenströme und Konzentrationen eine thermische Nachverbrennung erforderlich. Da die Lösemittelkonzentration in der Abluft mit zunehmender Dauer des Trocknungsprozesses sinkt, ist eine Stützfeuerung erforderlich. Der Abluftstrom muss zudem auf eine Verbrennungstemperatur von etwa 850°C gebracht werden. Es entstehen erhebliche diffuse Lösemittellemissionen durch Verdunstungen beim Beladen und Waschen in den Becken und während der Abtropfphase und dem Transport in das Trockenbecken, da die Becken und die Abtropfzone nicht effektiv gekapselt werden können.

- Waschen

Ein Tauchbecken mit ca. 8500x2300x2700 mm (die Größe ergibt sich aus den Abmessungen der zu waschenden Bauteile).

Als Charge pro Waschvorgang, durchschnittlich 10 Räder oder 6 Wellen auf einem Gestell.

Füllmenge Waschmedium ca. 42 m<sup>3</sup>.

Erwärmung des Waschmediums auf ca. 42°C mit Wärmetauscher und externer Heizung mit ca. 240 kW.

Taktzeit Waschen ca. 30 min/Charge (inkl. Beladen der Gestelle).

- **Trocknen**  
 Ein separates Trockenbecken mit gleichen Abmessungen wie das Tauchbecken, zusätzlicher Verfahrensschritt.  
 Trocknung mit ca. 30.000 m<sup>3</sup>/h Heißluft im Umluftbetrieb.  
 Erwärmung der Trocknungsluft auf etwa 110°C durch Winderhitzer mit ca. 150 kW.  
 Abluftvolumenstrom ca. 3.000 m<sup>3</sup>/h.  
 Taktzeit Trocknen ca. 60 min/Charge.
  
- **Abluftbehandlung**  
 Abluftvolumenstrom Rohgas ca. 3.000 m<sup>3</sup>/h mit ca. 5 g C-Gesamt/m<sup>3</sup>.  
 Abluftreinigung durch TNV mit Stützfeuerung (erforderlich wegen unterschiedlicher Konzentrationswerte).  
 Diffuse Verluste unvermeidlich da nur teilweise geschlossenes System möglich.  
 Emissionen: insgesamt hohe Jahresfracht C-Gesamt (ca. 8.350 kg/a).

Der Jahresdurchsatz von 11.000 t kann realisiert werden.

## **B VACUCLEAN PLUS Verfahren**

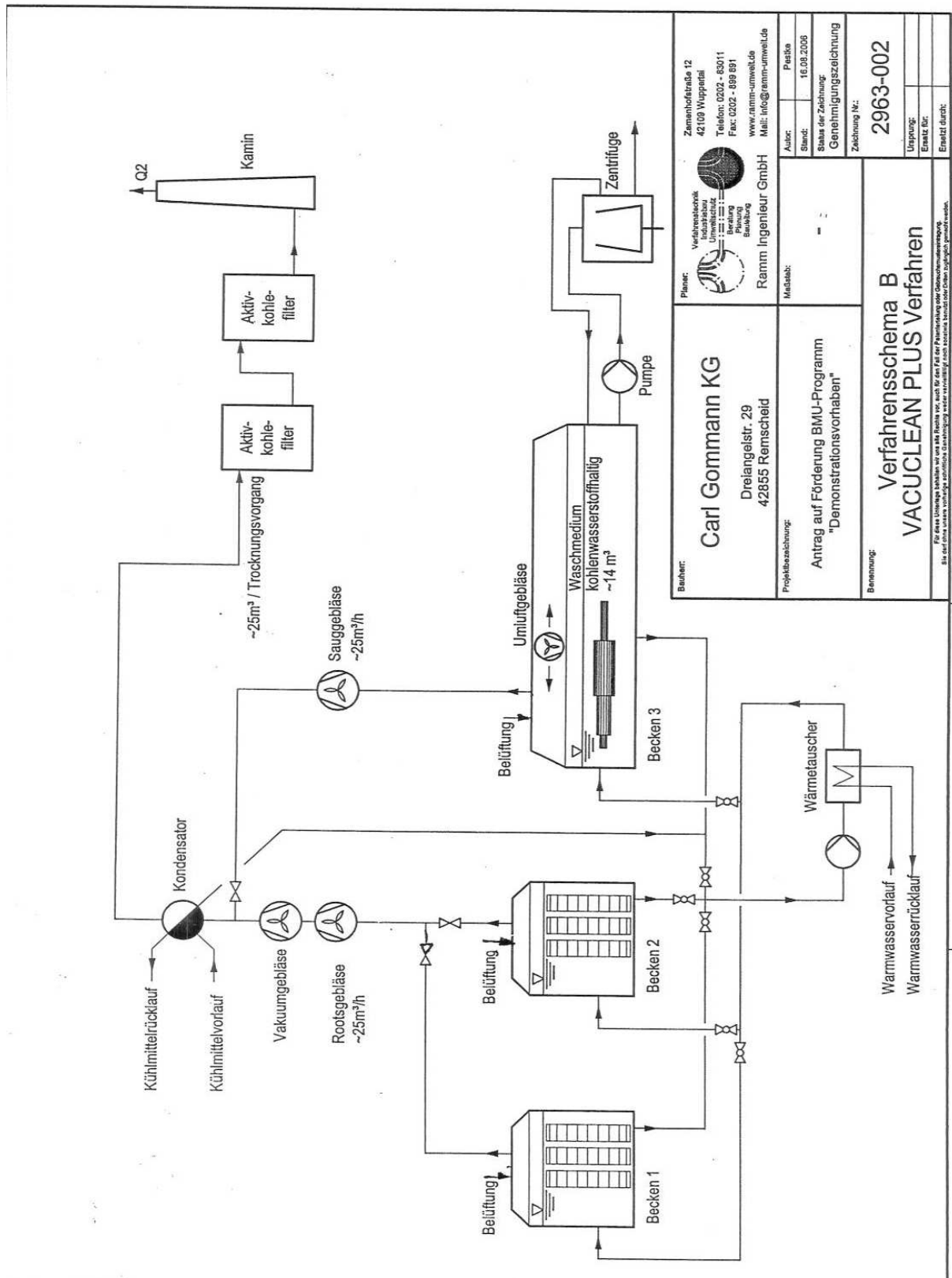
(geschlossene Waschbehälter, integrierte Vakuumtrocknung, Abluftbehandlung mit Rekondensation und Aktivkohlefilter)

Die Werkstücke werden in einem integrierten Wasch- und Trockenbecken platziert, in den dann bei geschlossenem Deckel das Waschmedium gepumpt wird. In den Becken 1 und 2 erfolgt nach dem Ablassen des Waschmediums im selben Becken die Vakuumtrocknung. Die abgesaugte Beckenluft wird über einen Kondensator geleitet in dem bis zu 99 % des Waschmittels zurückgewonnen werden. Für den verbleibenden Abluftstrom von ca. 25 m<sup>3</sup>/h ist i.d.R. keine weitere Abluftbehandlung erforderlich. Die nachgeschaltete Adsorption mit Aktivkohle hat lediglich die Funktion eines „Polizeifilters“, da erwartet wird, dass die Grenzwerte bereits nach dem Rekondensieren eingehalten werden können.

In dem Becken 3, in dem 5-10 % der Teile gereinigt werden, wird die Trocknung nach dem Ablassen des Waschmediums durch Abblasen der Tropfen mit einem Gebläse im Umluftbetrieb erzielt. So wird eine geringe Restfeuchte auf den Werkstücken erreicht, die für die weitere Bearbeitung (Polieren) erforderlich ist. Die Beckenluft wird anschließend ebenfalls über den Kondensator und den „Polizeifilter“ geleitet.

Nachfolgendes Verfahrensfliessbild verdeutlicht diesen Sachverhalt.





Bauführer: <b>Carl Gommann KG</b> Dreiangelstr. 29 42855 Remscheid	Planer:  Ramm Ingenieurbüro Umweltschutz Planung Bauabw.	Zamenhofstraße 12 42109 Wuppertal Telefon: 0202 - 89011 Fax: 0202 - 899 891 www.ramm-umwelt.de Mail: info@ramm-umwelt.de
		Autor: Pestka Stand: 16.08.2008 Status der Zeichnung: Genehmigungszeichnung Zeichnung Nr.: 2963-002
Projektbezeichnung: Antrag auf Förderung BMU-Programm "Demonstrationsvorhaben"	Maßstab: - : -	Ursprung: Ersatz für: Erweitert durch:
Benennung: <b>Verfahrensschema B          VACUCLEAN PLUS Verfahren</b>		2963-002

Für diese Umsetzung behalten wir uns alle Rechte vor, wenn für den Fall der Patentierung oder Gebrauchsmarkentragung die eine oder mehrere wesentlichen Merkmale der Erfindung nicht durch den Inhalt der vorliegenden Zeichnung vollständig offenbart werden können.

Abbildung 5: Vacuclean-Plus Verfahren

## Waschen

Zwei Vakuumbecken (Becken 1 und 2) mit je 3500x2300x2700 mm.

Ein Umluftbecken (Becken 3) mit 8500x1000x2700 mm.

90-95 % der Teile werden in den Becken 1 und 2 gewaschen.

Becken 1 und 2 je 4-6 Getriebezahnräder als Charge pro Waschvorgang

Becken 3 z.B. je 6 Wellen (oder Sonderbauteile) als Charge pro Waschvorgang in beiden Fällen auf fest montierten Traversen in den Becken.

Füllmenge Waschmedium insgesamt ca. 14 m<sup>3</sup> (Becken werden abwechselnd geflutet).

Erwärmung des Waschmediums auf ca. 42°C durch Wärmerückgewinnung der Härteöfen (für seltene Sonderfälle, wenn kein Ofen in Betrieb ist, Nutzung der Hallenheizung).

Becken sind wärmeisoliert.

Taktzeit Waschen ca. 45 min/Charge (inkl. Beladen der Becken).

### ▪ Trocknen

Trocknen erfolgt im gleichen Becken wie das Waschen, integriertes Verfahren

Unterschiedliche Anforderungen an Trocknungsgrad

Becken 1 und 2 sehr trocken durch Erzeugung eines Vakuums.

Trocknen in Becken 3 durch Abblasen im Umluftbetrieb.

Taktzeit Trocknen ca. 45-60 min/Charge in Becken 1 und 2 bzw. 4 h/Charge in Becken 3.

Keine Erwärmung beim Trocknen erforderlich.

Spezialbeschichtung der Behälterwände reduziert Benetzung (Lotuseffekt), geringere Verdampfungsverluste.

Abluftvolumenstrom ca. 20-25 m<sup>3</sup> pro Waschvorgang durch Beckenabsaugung nach der Trocknung.

### ▪ Waschmittelrückgewinnung

Rekondensation nach Vakuum- und Umlufttrocknung, Wirkungsgrad ca. 99 %.

Grenzwert C-Gesamt wird i.d.R. nach Kondensator eingehalten.

### ▪ Abluftbehandlung

Abluftvolumenstrom ca. 20-25 m<sup>3</sup> pro Waschvorgang (Faktor 120 geringer als konventionelles Verfahren).

Adsorption mit Kohlefilter als „Polizeifilter“.

Diffuse Verluste zu vernachlässigen da geschlossenes System.

Emissionen: absolut geringe Jahresfracht (ca. 1,7 kg/a) wegen geringer Volumenströme.

Der Jahresdurchsatz von 11.000 t kann realisiert werden.

Die Wahl fiel dabei auf eine innovative Variante mit der Vakuumtrocknung (**VACUCLEAN PLUS Verfahren**). Das von der Firma Gommann in Zusammenarbeit mit den Anlagenbauern

entwickelte VACUCLEAN PLUS Verfahren kommt erstmalig in der Bundesrepublik Deutschland im industriellen Maßstab zur Anwendung. Die fortschrittliche Art der Reinigung bei gleichzeitiger Minimierung des Energieverbrauchs, der Lösemittel- und CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie des Waschmittelverbrauchs, definiert den Stand der Technik im Bereich der Oberflächenreinigung von großen Bauteilen neu und führt so zu entscheidenden Einsparungen und Umweltentlastungseffekten die gegenüber einer konventionellen Technik in folgenden Größenordnungen erwartet werden:

**Energieverbrauch**

**Einsparung** in Höhe von 825 MWh/a, entspricht **100 %**

**CO<sub>2</sub>-Emissionen**

**Einsparung** in Höhe von 165 t/a, entspricht **100 %**

**Lösemittelmmissionen**

**Einsparung** in Höhe von 8.350 kg/a, entspricht **99,98 %**

**Waschmittelverbrauch**

**Einsparung** in Höhe von 15 t/a, entspricht **26 %**

**kein CKW-Einsatz**

## **2. Nachweisführung (Kontrolle der Projektziele)**

In diesem Kapitel werden die Methoden dargestellt, mittels derer die Realisierung der Projektziele nachgewiesen werden soll, wobei die Einsparungen gegenüber einer konventionellen Verfahrenstechnik gegenübergestellt werden.

### **2.1 Methode**

Über einen Zeitraum von einem Jahr nach der Umsetzung des Projektes wurde sowohl der Energie- und Waschmittelverbrauch gemessen. Anhand der bei der Abnahmemessung festgestellten Emissionsmassenströme für C-Gesamt sowie der Bilanzierung der eingesetzten und entsorgten Waschmittelmengen ergibt sich die Menge der Lösemittlemissionen

### **2.2 Ergebnisse**

#### **2.2.1 Energieeinsparung und CO<sub>2</sub>-Einsparung**

Eine konventionelle Waschanlage benötigt zur Erwärmung des Waschmittels und zur Trocknung der Bauteile hohe Mengen Energie. Die Temperaturregelung des Waschmediums erfolgt in der Regel über eine externe Heizung. Die Zahnräder müssen bei der Trocknung mittels heißer Luft erwärmt werden. Somit verbraucht eine konventionelle Waschanlage ca. 825 MWh/a Energie.

Das VACUCLEAN PLUS Verfahren verbraucht keine nennenswerte Energie (keine CO<sub>2</sub>-Belastung), da die Erwärmung des Waschmediums über Wärmerückgewinnung aus dem Kühlwasserkreislauf der Ofenanlagen und die Trocknung über Vakuumpumpen mit einem Energieverbrauch von lediglich 40 kWh/Waschvorgang erfolgt. Bei der Trocknung der zu waschenden Bauteile durch den Vakuumprozess ist eine thermische Nachverbrennung nicht erforderlich. Dieses bedeutet eine CO<sub>2</sub>-Einsparung von 158t/a auf Basis eines Energieverbrauchs von 789 MWh/a einer konventionellen Anlage unter der Berücksichtigung des Energieverbrauchs der Vakuumpumpen.

## 2.2.2 Lösemittelreduktion

Es liegen bei dem geschlossenen VACUCLEAN PLUS- Verfahren keine diffusen Emissionen z.B. durch Verschleppungen von Lösemittel wie bei der konventionellen Waschanlage vor. Es erfolgt ein Verdunsten aller sonst üblichen diffusen Emissionen über das Vakuum. Diese Lösemittelreste werden zunächst über 2 Tropfenabscheider weiter in einen Vorratsbehälter geleitet und anschließend dem Waschmedium wieder zugeführt.

Bei den Emissionsmessungen ist ein Mittelwert der Konzentration des Gesamtkohlenstoffes im Abgas von 2,2 mg/m<sup>3</sup> ermittelt worden. Dies liegt weit unter dem Grenzwert von 75 mg/m<sup>3</sup>. (gem. 31. BImSchV) und ist somit zu vernachlässigen.

Die Messungen wurden von der Fa. Dr. Füllung“ – Remscheid durchgeführt und sind nachfolgend dokumentiert.

Anlage:           Chargenwaschanlage (genehmigungsbedürftig nach Nr. 5.1 a),  
                  Spalte 2 des Anhangs der 4. BImSchV)

Betriebszeiten:

- nach Betreiberangaben:   zweischichtig Montags – Freitags

Emissionsquelle:    Q 2: Abluftkamin der Chargenwaschanlage

Messkomponenten:  organische Stoffe, angegeben als Gesamtkohlenstoff

Messergebnisse:

Quellenummer:     Q 2

Messkomponente	Anzahl Messungen	Mittelwert Konzentration / Massenstrom [mg/m <sup>3</sup> / g/h]	Maximalwert Konzentration / Massenstrom [mg/m <sup>3</sup> / g/h]	Grenzwert Konzentration / Massenstrom [mg/m <sup>3</sup> / g/h]	Zustand höchster Emission
Gesamtkohlenstoff	6	2,2 / 0,4	2,8 / 0,6	75 / -	ja

**Tabelle 1: Messung Gesamtkohlenstoff**

### **2.2.3 Waschmittelreduzierung**

Es ist ein Jahresverbrauch des Reinigers von 24 t bei einem Durchsatz von ca. 11.000 t/a Material zu verzeichnen. Bei der konventionellen Technik wird ein Verbrauch an Reiniger von ca. 57 t/a bei gleicher Durchsatzmenge prognostiziert.

Dieses ist erheblich günstiger als erwartet (prognostiziert wurden 42 t/a). Damit wurden die erwarteten Verbräuche um 18 t unterschritten!

### **2.2.4 Reinigungsleistung**

Auf Grund der sehr intensiven Spülvorgänge im bewegten Bad und der anschließenden Trocknung unter Vakuum wird eine optimale Reinigungsleistung erzielt. Im Rahmen der betrieblichen Qualitätskontrolle konnte festgestellt werden, dass seit dem Einsatz der Waschanlage keine Kennwerte, die in Verbindung mit der Ausbildung der Nitrierschicht bzw. Härteannahme zu sehen sind, auf Grund des Waschergebnisses von den Qualitätsvorgaben abweichen.

Insbesondere für Sacklochbohrungen und anderen schöpfenden Bereichen ist das neue Verfahren sehr gut geeignet. So sind bei den zu nitrierenden Getrieberädern die Gewinde gemäß Kundenvorgabe nicht zu nitrieren und somit weich zu halten. Dieses wird mit einer Zinnpaste erreicht, die von Hand aufgebracht wird. Damit sich diese sog. Abdeckpaste gut auftragen lässt und eine gute Verbindung mit der Oberfläche eingehen kann, muss das Gewinde vollständig sauber und trocken sein. Bei konventionellen Verfahren müssten diese Bauteile zur Trocknung erwärmt werden. Die Trocknungsleistung ist hier insbesondere in tiefen Bohrungen fraglich.

### 3. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

#### 3.1 Investitionen

<b>Investitionssumme</b>	<b>geplant €</b>
3 Reinigungsbecken	467.000
Pumpen	190.000
Zentrifugeneinheit, Auffangwanne	60.000
Abgasführung, -reinigung	45.000
Regel- und Steuerungstechnik	40.000
Kohlenwasserstoffe	20.000
Leckagemeldesystem	2.000
Materialkosten	6.300
hhFremdleistungen für Lieferung und Montage	31.500
Eigenleistungen (Projektleitung, Montage)	8.360
Förderfähige Ausgaben	870.160
<b>Finanzierung</b>	
Zuschuss aus dem BMU-Programm zu Förderung von Demonstrationsvorhaben	240.720
Eigene Mittel	629.440
Gesamtausgaben	870.160

Tabelle 2: Übersicht über geplanten Investitionen

Da sich die Aufteilung der Teilvorhaben nach den Zuwendungsbescheid aufgrund der Angebotseinholung geändert haben, stellen wir die tatsächlich getätigten Investitionen in einer anderen Zusammenstellung in der Tabelle 3 dar:

	<b>Tatsächlich €</b>
2 Vakkum-Reinigungsbecken, 1 Reinigungsbecken mit integrierter Gebläseeinheit, Vakkumpumpenstand mit Rückkondensationsanlage, Mediumpumpe zum Umpumpen und zur Beheizung Wärmetauscher, Auffangwanne für Wärmetauscher u. Zentrifugeneinheit, Regel- und Steuerungseinheit	714.000
Nano-Beschichtung Becken	1.950
Sammelbehälter für Kondensat u. Schmutzsammelbehälter	16.426
Abdeckungen und Grundrahmenkonstruktionen	3.586
Zentrifugeneinheit mit Steuereinheit und Zentrifugenschlammbehälter	38.960
Abgasführung über Dach	7.341
Abgasreinigungseinheit mit Aktivkohlefilter	1.350
Kohlenwasserstoffe Erstbefüllung	17.139
Explosionsschutzdokument	900
Komponenten	2.600
Montageleistungen Lieferanten	14.067
Eigenleistungen (Projektleitung, Montage)	11.000
	829.319
<b>Finanzierung</b>	
Zuschuss aus dem BMU-Programm zu Förderung von Demonstrationsvorhaben	229.721
Eigene Mittel	599.598
Gesamtausgaben	829.319

**Tabelle 3: Übersicht der tatsächlich getätigten Investitionen**



### **3.2 Abschätzung der Einsparung**

Jedes Teilziel dieses Projektes trägt zur gesamten Kosteneinsparung und Wirtschaftlichkeit bei.

Die Betriebsstoffeinsparung errechnet sich aus den verringerten Energie- und Waschmittelverbrauch gegenüber konventionellen Anlagen. Bei einem Waschmittelverbrauch von 24 t bei der VACUCLEAN PLUS- Anlage ist gegenüber einer konventionellen Anlage eine Einsparung von 46.000 €/a (bei 1,40 €/kg Waschmittel) zu verzeichnen. Da bei der VACUCLEAN- PLUS Anlage der Energieverbrauch vernachlässigbar ist, ist gegenüber einer konventionellen Waschanlage ein Energieeinsparung von 789 MWh/a zu verzeichnen. Dies bringt eine Ersparnis von ca. 78.900 €/a bei 10 ct/kWh.

### **3.3 Amortisationszeit**

Bei der Berechnung der Amortisationszeit sind wir davon ausgegangen, dass zum Zeitpunkt der Antragstellung der interne Verrechnungspreis pro t Waschgut 11,50 Euro beträgt. Dieser Waschpreis ist als kalkulatorische Kosten für das Waschen in den Härtepreisen berücksichtigt. Bei geplanten Anlagenkosten von 870.160 Euro und einer Tonage von 11.000 t/a errechnet sich ein jährlicher Waschpreis von 126.500 Euro. Teilt man die geplanten Anlagekosten durch den jährlichen Waschpreis errechnet sich eine Amortisationszeit von 6,88 Jahren. Unter Einbeziehung der geplanten Einsparungen im Bereich Energie (42.000 €) und Waschmittel (21.000 €), errechnet sich der Wert der eingesparten Energie- und Waschmittelkosten pro Tonne Waschgut aus der Division der Summe der eingesparten Energie- und Waschmittelkosten (63.000 €) mit der geplanten Jahrestonnage (11.000 t/a). Addiert man die in Härtepreisen kalkulierten Anlagenkosten pro Tonne Waschgut mit den eingesparten Kosten für Energie und Waschmittel und dividiert diesen Betrag durch die Investitionskosten reduziert sich die Amortisationszeit auf 4,59 Jahre.

Berücksichtigt man nun die tatsächlichen getätigten Investitionen bei unveränderter Jahresmenge und gleichen Verrechnungspreis ergibt sich eine Amortisationszeit von 6,55 Jahren (ohne Betriebsstoffeinsparung) und unter Einbeziehung der tatsächlichen Einsparungen im Bereich Energie und Waschmittel reduziert sich die Amortisationszeit auf 3,25 Jahre

	Inves- tition in €	Tonage t/a	In Härtepreisen kalkulierte Anlagenkosten pro t Waschgut €/t	Amorti- sationsdauer in Jahren  Ohne Betriebs- mittelein- sparung	Eingesparte Energie und Waschmittel pro t Waschgut €/t	Amorti- sations- dauer in Jahren  Mit Betriebs- mittelein- sparung
Geplant	870.160	11.000	11,50	6,88	5,73	4,59
Tatsächlich	829.319	11.000	11,50	6,55	11,36	3,30

**Tabelle 4: Amortisationszeit Geplant versus Tatsächlich**

## 4. Zusammenfassung

Die Härterei Carl Gommann hat sich auf das Nitrieren spezialisiert und bietet auch für Bauteile mit großen Abmessungen das Nitrieren an. U.a. werden große Zahnräder für Getriebe von Windkraftanlagen gasnitriert (bis 3,6 t und 2200 mm Durchmesser) sowie lange, schlanke Bauteile plasmanitriert (bis 6,0 t und 7500 mm Länge). Insbesondere für diese Bauteile wurde eine Waschanlage geplant, die umweltschonend und kostensparend bei sehr guter Reinigungsleistung arbeitet. Die Sauberkeit der Bauteile ist mitentscheidend für das Nitrierergebnis.

Nach Gegenüberstellung einer typischen konventionellen Waschanlage mit einem Verfahren, welches mit einer Vacuumtrocknungseinrichtung arbeitet, hat man sich bei der Fa. Carl Gommann KG für den Einsatz des sog. VACUCLEAN PLUS Verfahrens mit Vacuumtrocknung entschieden. Dieses innovative Verfahren verspricht den größten Erfolg beim Erreichen der folgenden Zielsetzung:

### 1) Umweltentlastung und Kosteneinsparungen

Das VACUCLEAN PLUS Verfahren verbraucht nahezu keine Energie. Die Erwärmung des Waschmediums erfolgt über Wärmerückgewinnung aus den Ofenanlagen. Eine thermische Nachverbrennung für die Trocknung ist nicht erforderlich. Eine konventionelle Waschanlage hat, unter Abzug des Energieverbrauchs der Vakuumpumpen, einen Energieverbrauch von 789 MWh/a. Die CO<sub>2</sub>-Belastung liegt somit bei 158 t/a. Durch das VACUCLEAN PLUS Verfahren wird somit eine Kosteneinsparung von 78.900 €/a (bei 10 ct/kWh) realisiert.

Die Emmissionsmessungen zeigten mit einem Mittelwert der Konzentration des Gesamtkohlenstoffgehaltes im Abgas von  $2,2 \text{ mg/m}^3$  eine deutliche Unterschreitung der Grenzwerte gem. 31. BImSchV ( $75 \text{ mg/m}^3$ ). Die Anlage fährt somit praktisch Emissionsfrei.

Bei dem Waschmittelverbrauch wurden die geplanten Vorgaben deutlich übertroffen: Gegenüber der konventionellen Anlage mit einem Verbrauch von 57 t/a wurde ein Verbrauch von 42 t/a prognostiziert. Tatsächlich ist ein Waschmittelverbrauch von 24 t/a zu verzeichnen. Dies führt bei 1,40 €/t zu einer Einsparung von ca. 46.000 €/a.

## 2) QS-Ziele

Durch das intensive Spülen mit anschließendem Trocknen im Vakuum ist gegenüber dem konventionellen Verfahren, insbesondere in tiefen, nicht durchgehenden Bohrungen eine sehr gute Reinigung und Trocknung zu verzeichnen, die für das Nitrierergebnis und das partielle Auftragen einer Schutzpaste gegen das Nitrieren mitentscheidend ist.

Daneben haben sich während des Projektes bzw. durch das Projekt noch weitere positive Effekte ergeben:

Im Laufe der Inbetriebnahmephase konnte durch einen zusätzlichen Tropfenabscheider und durch die Herabsetzung der Kondensattemperatur auf  $0^\circ\text{C}$  die Rekondensation des Lösemittels erheblich verbessert werden.

Während der Phase der Inbetriebnahme zeigte sich, dass beim Belüften der Becken 1 u. 2 die Lärmbelastung sehr hoch war. Durch den Einbau eines Schalldämpfers konnte hier eine deutliche Verbesserung erzielt werden, wodurch der 24h-Betrieb der Anlage ermöglicht wurde.

Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass durch das geschlossene System sowie dadurch, dass keine Reinigerrückstände in Sacklöchern nach dem Trocknen vorliegen, keine signifikante Geruchbelästigung für die Mitarbeiter vorliegt.

Die geplante Amortisationsdauer von ca. 4,59 Jahren ist mit 3,30 Jahren übertroffen.

Die gesetzten Ziele bezüglich einer Umweltentlastung, einer höheren Qualität des Reinigungsergebnisses sowie Kosteneinsparungen sind erreicht bzw. teilweise sogar übertroffen worden.

Somit lässt sich sagen, dass eine ausgesprochen erfolgreiche Projekteinführung zu verzeichnen ist.

## 5. Verbreitung und weitere Anwendung der Anlage

Das hier verwendete VACUCLEAN PLUS Verfahren kann selbstverständlich ohne weiteres in anderen Härterebetrieben eingesetzt werden, in denen relativ große Werkstücke vor dem eigentlichen Härten gewaschen werden müssen. Das Prinzip der integrierten Vakuumtrocknung stellt aber auch für kleinere Bauteile eine attraktive Lösung dar, da so die Taktzeiten erheblich verkürzt und damit der Durchsatz gesteigert werden kann.

Die Anwendungsmöglichkeiten des VACUCLEAN PLUS Verfahrens sind aber keineswegs auf Härtereien beschränkt. Grundsätzlich kommt jede Branche in Frage, in der großformatige und/oder große Stückzahlen von Werkstücken gereinigt und getrocknet werden müssen. In der Automobilindustrie werden große Blechumformwerkzeuge eingesetzt, die einer Oberflächenbehandlung unterzogen werden müssen. Das VACUCLEAN PLUS Verfahren kann hier in idealer Weise zum Einsatz kommen.

In Lackierereien müssen oftmals große Blechteile entfettet bzw. gereinigt werden. Die Reinigung die bisher z.B. in Sprüh- oder Tauchverfahren mit anschließender Heißlufttrocknung erfolgte, kann nun mit dem VACUCLEAN PLUS Verfahren kostengünstig und umweltentlastend realisiert werden.

Gleiches gilt für den Großgetriebe- oder Sondermaschinenbau. Hier werden ebenfalls besonders große oder sperrige Teile gefertigt, die im Produktionsprozess oder auch z.B. bei Reparaturen und Wartungen einer Oberflächenbehandlung mit lösemittelhaltigen Stoffen zur Reinigung oder Vorbereitung für weitere Verfahrensschritte unterzogen werden. Hier bietet sich der Einsatz des VACUCLEAN PLUS Verfahrens mit all seinen Vorteilen an.

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit ergibt sich im Bereich des Galvanisierens und verwandter Verfahren. Auch hier werden Bauteile aller Abmessungen behandelt, die beim Trocknen teilweise erhebliche Mengen schädlicher Stoffe emittieren. Das VACUCLEAN PLUS Verfahren mit der Möglichkeit einer hohen Rückgewinnungsquote, minimalen Emissionen und sehr geringen Energieverlusten stellt hier eine sinnvolle attraktive Neuerung dar.

Unsere Anlage ist mittlerweile 2-3-schichtig im Einsatz. Bei einem weiteren Anstieg der Tonnagemengen wird eine Investition in eine zweite Anlage in Erwägung gezogen. Nach einer entsprechenden Terminvereinbarung mit der Fa. Carl Gommann KG ist eine Besichtigung der Waschanlage möglich.