

# RAFFLENBEUL INGENIEURE

Verfahrenstechnik und Hochbau  
Rolf Rafflenbeul ö.b.u.v. Sachverständiger für  
Abluftreinigungsverfahren und Luftreinhaltung



Abluftreinigung  
Abwasserreinigung  
Entsorgung  
Prozesstechnologie und  
Energieverbundsysteme  
Genehmigungs- und  
Bewilligungs-Verfahren  
Gutachtenerstellung  
Umweltmanagement

RAFFLENBEUL INGENIEURE • Voltastraße 5 • D-63225 Langen

RAFFLENBEUL INGENIEURE  
Voltastraße 5  
63225 Langen

Tel. : 06103 / 30 09 78  
Fax : 06103 / 28 06 65  
E-Mail : rafflenbeul@envisolve.com  
Home : www.envisolve.com

ident  
abschlussbericht\_heissgasrückführung.doc

Bezug Langen, den  
Rf/hk 20.05.2009  
Ha/fr

## Berichts-Kennblatt

### **BMU -UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM**

## **Abschlussbericht**

### zum Vorhaben:

Verbesserte Energieumsetzung heizwerthaltiger Emissionen in der  
Beschichtungsindustrie

Vorhaben-Nr.: 20130, Kennzeichen UBA-20130

### Fördernehmer/-in:

Rheinzink GmbH & Co. KG, Bahnhofstraße 90, D-45711 Datteln

**Umweltbereich Klimaschutz, Luftreinhaltung,  
Ressourceneffizienz, Energie, integrierter Umweltschutz**

### Laufzeit des Vorhabens

1.7.2005 bis 31.12.2008

### Autor

Dipl.-Ing. Rolf Rafflenbeul, Fa. Rafflenbeul Ingenieure, Voltastraße 5, D-63225 Langen

**Gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt,  
Naturschutz und Reaktorsicherheit**

Datum der Erstellung: 20.05.2009

Postgiroamt, Frankfurt/M.  
Kto.-Nr.: 624862-607  
BLZ: 500 100 60  
IBAN/BIC DE61 5001 0060 0624 8626 07  
SWIFT PB NK DE FF

UST-Id.-Nr. : DE 114301933  
UST-Nr.: 28 859 01215  
DUNS-Nummer 33-356-0972

**Fa. Rheinzink GmbH & Co. KG, Datteln**

1. Berichtsnummer UBA- 20130	2.	3.
4. Titel des Berichts Verbesserte Energieumsetzung heizwerthaltiger Emissionen in der Beschichtungsindustrie		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Rafflenbeul, Rolf	8. Abschlussdatum 20.05.2009	
	9. Veröffentlichungsdatum	
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Rheinzink GmbH & Co. KG, Bahnhofstraße 90, D-45711 Datteln	10. Vorhaben-Nr. 20130	
	11. Seitenzahl 21	
	12. Literaturangaben 6	
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt, Wörlitzer Platz 1, D-06844 Dessau	13. Tabellen und Diagramme 3	
	14. Abbildungen 6	
	15. Zusätzliche Angaben	
16. Zusammenfassung Für die Verwendung von Zinkblechen in der Bauindustrie werden diese vor dem Einsatz je nach Art der geplanten Nutzung zum Schutz oberflächenimprägniert und lackiert. Nach dem Aufbringen der lösemittelhaltigen Beschichtungsstoffe erfolgt die Trocknung mit Heißluft in einer Trocknerstraße. Die Heißluft, wird durch gasbetriebene Brenner erzeugt. Geeignete Wärme wird aber auch von Abgasreinigungsanlagen, in denen die im Trockner freigesetzten organischen Lösemittel verbrannt werden, generiert.. Bei der Verbrennung der Lösemittel entsteht Wärme im Überschuss, die in den Beschichtungstrocknern genutzt werden könnte. Die Umsetzbarkeit dieser Wärmenutzung sollte im Projekt nachgewiesen werden. Die Durchführung des Vorhabens wurde in einem zinkblechverarbeitenden Betrieb, der über die beschriebenen Voraussetzungen verfügt, realisiert. Es wurde dazu zwischen der Brennkammer, der Abgasreinigungsanlage und der Zuluftleitung zu den Beschichtungstrocknern ein Anlagenteil bestehend aus Ventilator, Klappen und Luftfilter integriert. Das Heißgas aus der Brennkammer der Abgasreinigungsanlage konnte dadurch nach einer entsprechenden Aufbereitung zur Minderung des Energieverbrauches in die Trockner eingeschleust werden. Überprüft werden musste im Rahmen des durchgeführten Projektes, wie aufwändig die Aufbereitung (Filtration) des Heißgases aus der Brennkammer sein muss und ob es für die Trocknung des beschichteten Produktes geeignet ist. Die Umsetzung des Projektes erbrachte als Ergebnis, dass die nach der Filtration verbleibenden Staubkonzentrationen in der Trocknerluft keine Auswirkung auf die Qualität des Produkts hatten. Für die Steuerung des Prozesses existieren geeignete Klappen, die so angesteuert werden können, dass die Trocknungstemperatur mit einer Schwankungsbreite von +/-5 °C konstant bleibt. Zur feineren Einstellung der Trocknungstemperatur kann auch eine Frischluftbeimischung realisiert werden. Die mit diesem Verfahren erzielbaren Einsparungen bezüglich des Gasverbrauches der Brenner in den Trocknern sind erheblich. Über dieses Verfahren erfolgt sowohl eine Reduzierung des Gasverbrauches der Brenner als auch eine damit verbundene Minderung des CO <sub>2</sub> -Ausstoßes. Das Verfahren ist in weiteren Industriezweigen anwendbar, wenn überschüssige Wärme aus der Verbrennung von organischen Lösemitteln zur Verfügung steht und Wärme für Trocknungsprozesse benötigt wird. Der innovative Aspekt des Vorhabens liegt insbesondere in der Realisierung eines Verbundes, indem die an einem Ort freiwerdende Abwärme an einem anderen Ort, wo Wärme benötigt wird, nutzbar gemacht wird. Üblicherweise werden für solche Anwendungen Wärmetauscher eingesetzt. Weil das hier realisierte Verfahren den Einsatz eines Wärmetauschers nicht erfordert, werden dann sogar Verringerungen der Investitionskosten im Vergleich zu anderen restwärmenutzenden Verfahren möglich. Im umgesetzten Projekt wurde eine Verringerung der Investitionskosten um 30.000,- € erreichbar. Bei den Betriebskosten werden Einsparungen von 70.000,- €/a bei gleich bleibender Produktqualität möglich.		
17. Schlagwörter Heißgasrückführung, Energieverbund, Beschichtung, Trocknung, Abluftreinigung		
18. Preis	19.	20.

**Report Cover Sheet**

1. Report No. UBA - 20130	2.	3.
4. Report Title Improved Energy Conversion of Calorific Value Containing Emissions in the Coating Industry		
5. Autor(s), Family Name(s), First Name(s) Rafflenbeul, Rolf		8. Report Date 20.05.2009
6. Performing Organisation (Name, Address) Rheinzink GmbH & Co. KG, Bahnhofstraße 90, D-45711 Datteln		9. Publication Date
		10. Report-No. 20130
		11. No. of Pages 21
		12. No. of References 6
7. Funding Agency (Name, Address) Umweltbundesamt (Federal Environmental Agency) Wörlitzer Platz 1, D-06844 Dessau		13. No. of Tables, Diagrams 3
		14. No. of Figures 6
		15. Supplementary Notes
16. Abstract <p>The surface of zinc plates as used in the fields of the construction industry has to be impregnated and varnished for the purpose of protection before attaching the sheet zinc. Upon applying the appropriate protective layer (the protective material is given in organic solvents initially) it has to be dried. This drying process happens in drying sections by hot air, which is generated by gas operated burners. But sufficient heat is also originated by waste air abatement plants, which are connected downstream to the drying sections. These purification plants produce surplus heat in the course of combusting the waste air from the drying processes, which could be used in the dryers also. The feasibility and practicability of this kind of heat usage should be verified by the carried out project.</p> <p>The project was realized in a sheet zinc processing factory, which is endowed with the described requirements. For this purpose a plant part (containing a fan, flaps and an air filter) has been integrated in the system between the combustion chamber of the waste air abatement plant and the supply air pipe to the dryers. By dint of this measure hot air from the combustion chamber of the exhaust air purification plant could be used for minimizing the energy consumption of the dryers (after an appropriate conditioning). Within the scope of the project had to be found out, how complex the conditioning (filtration) of the air from the combustion chamber would have to be and whether this would be capable for drying the coated material.</p> <p>As major result was found out that the dust concentrations remaining after filtration within the dryer air are not relevant concerning quality degradations of the product. For controlling the drying process applicable flaps are given, which enable keeping the drying temperature constant with a fluctuation range of +/-5 °C. Fresh air can be admixed for a more exact adjustment of the drying temperature. The savings attainable by this procedural method are significantly high concerning the gas consumption of the burners in the dryers. By this process not only a reduction of the gas consumption of the burners is achieved – minimizing the CO<sub>2</sub> discharge is also feasible.</p> <p>The process was applied vicariously for other industry sectors. This procedural method can be used in all cases, in which surplus heat is available (due to the exothermal status of the solvents, which are released during drying) and heat is required for drying processes. The innovative aspect of the project is given by realizing an interconnection (waste heat generated in a certain section is used at an appliance in another section). Normally heat exchangers are required for such surplus heat usage measures. Due to the fact that a heat exchanger is not necessary for the realized process minimizing the investment costs is possible also (compared with other surplus heat using processes). In the course of the project a decrease of the investment costs of 30,000 € was achieved. Concerning the operating costs savings of 70,000 €/a are feasible related to constant product quality.</p>		
17. Keywords Hot Gas Recirculation, Energy Interconnection, Coating, Drying, Waste Air Abatement		
18. Price	19.	20.

**Inhaltsverzeichnis**

1 Einleitung ..... 5

1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens und Ausgangssituation ..... 5

1.2 Beschreibung des eingesetzten Abgasreinigungsverfahrens..... 5

1.3 Beschreibung des Standes der Technik zur Verringerung des Energiebedarfs bei  
Beschichtungstrocknung mit nachgeschalteter Abgasreinigung ..... 8

2 Vorhabensumsetzung ..... 9

2.1 Ziel des Vorhabens ..... 9

2.2 Darstellung der technischen Lösung ..... 9

2.2.1 Aufbau der Versuchsanlage..... 10

2.3 Darstellung der Umsetzung des Vorhabens ..... 12

3 Ergebnisse ..... 13

3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung ..... 13

3.2 Stoff- und Energiebilanz ..... 13

3.2.1 Luftmassenströme ..... 13

3.2.2 Temperaturen ..... 13

3.2.3 Energiebedarf ..... 14

3.3 Umweltbilanz..... 15

3.3.1 Minderung des jährlichen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes ..... 15

3.3.2 Produktspezifische Minderung des Gasverbrauches und CO<sub>2</sub>-Ausstoßes ..... 15

3.4 Konzeption, Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms ..... 16

3.5 Wirtschaftlichkeitsanalyse ..... 17

3.5.1 Betriebskosteneinsparungen..... 17

3.5.2 Investitionskosteneinsparungen..... 17

3.6 Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren ..... 19

4 Empfehlungen..... 19

4.1 Zusammenfassung..... 20

5 Literatur..... 21

## 1 EINLEITUNG

### 1.1 KURZBESCHREIBUNG DES UNTERNEHMENS UND AUSGANGSSITUATION

Die Fa. Rheinzink in Datteln beschichtet Zinkblech, das insbesondere für bauliche Maßnahmen, z. B. für Dachabdeckungen, für Fassadenverkleidungen, für Dachrinnen und andere Gebrauchsgegenstände am Bau eingesetzt wird. Zur besseren Witterungsbeständigkeit, aber auch zum Erreichen einer verbesserten (gleichmäßigen) Optik wird das Zinkblech immer öfter mit Überzugslacken oder -folien beschichtet, wobei zum Erzielen gleichmäßiger Effekte bis zu 20 µm Lackschichtdicke aufgetragen werden. Bei geringen Schutzlacküberzügen (Fingerprint) wird eine Schicht mit 5 µm Stärke auf die Oberfläche des Zinkbleches aufgebracht. Diese verhindert, dass Verschmutzungen durch Berührung während der Bearbeitung dauerhaft im Zinkblech abgebildet werden.

Zunächst wird aus Zinkbarren sowie den Legierungselementen Kupfer, Titan und Aluminium Zinkblech durch Aufschmelzen, Gießen und Walzen gewonnen. Dieses Blech wird zu einem sogenannten Coil gewickelt, das heißt zu einer Rolle, die nun transportfähig und zur Weiterverarbeitung geeignet ist. Bei der Weiterverarbeitung wird der mehrere Kilometer Zinkblech enthaltende und bis zu 20 t schwere Coil im kontinuierlichen Verfahren oberflächenvergütet. Diese Oberflächenvergütung umfasst als letzte Maßnahme nach dem Beizen und Passivieren die Beschichtung mit Dekorations- und Schutzmaterialien wie Lacken und Folien.

Das Verfahren entspricht prinzipiell den weltweit in der Stahl- und Aluminiumindustrie eingesetzten Lackierverfahren für Bandblech. Abweichend von der Stahlindustrie, die Bandgeschwindigkeiten bis ca. 450 m/min für vergleichbare Anwendungen nutzt, kann aufgrund der geringeren Festigkeit des Zinkbleches nur eine Durchsatzgeschwindigkeit von ca. 60 m/min für das Zinkblechmaterial erreicht werden.

Die Einsatzmaterialien für die Beschichtungen sind in organischen Lösemitteln appliziert. Die organischen Lösemittel besitzen im Gegensatz zu wässrigen Lösungen den Vorteil einer schnellen Trocknung bei wesentlich geringerem Energiebedarf zur Trocknungsluftzeugung. Dies ist auf die ca. fünffach kleinere Verdampfungsenthalpie der Lösemittel im Vergleich zum Wasser, auf die Ausbildung einer deutlich günstigeren Kühlgrenztemperatur und auf die bessere Benetzbarkeit der in organischem Lösemittel suspendierten oder gelösten Inhaltsstoffe zurückzuführen. UV-härtende Beschichtungssysteme stehen für diese Anwendung noch nicht zur Verfügung.

Während des Trocknungsprozesses verdampfen die Lösemittel und werden mit Schleppluft (Trocknungsluft) aus den Trocknern abgeleitet und einer Abgasreinigungsanlage zugeführt.

### 1.2 BESCHREIBUNG DES EINGESETZTEN ABGASREINIGUNGSVERFAHRENS

Zur Abgasreinigung werden je nach Anwendungsfall vor allem thermische, katalytische und regenerative Abluftreinigungssysteme eingesetzt. Aufgrund der bei der Fa. Rheinzink gegebenen sehr niedrigen Abgaskonzentrationen wurde eine thermische regenerative Abgasreinigungsanlage installiert. Das regenerative Verfahren ermöglicht die höchste Wärmerückgewinnung (bis ca. 95%) aus der Abwärme des Reingases im Vergleich zu anderen thermischen Verfahren. Trotz dieser hohen Wärmerückgewinnung erfordert die Durchführung des Gesamtprozesses (Trocknung und Abluftreinigung) einen hohen Energieaufwand.

Die Abwärme des Reingases wird dazu genutzt, um das in die Abluftreinigungsanlage eintretende Abgas möglichst weitgehend vorzuwärmen. Diese Vorwärmung geschieht systemimmanent, indem

**Fa. Rheinzink GmbH & Co. KG, Datteln**

der Wärmetauscherteil, meist bestehend aus drei Regeneratoren mit keramischer Füllung, und der eigentliche Abgasverbrennungsraum, die Brennkammer, mit einander verbunden sind. Zur Abgasbehandlung wird die Abluft in der Brennkammer bei ca. 800 °C oxidiert. Die heißen Rauchgase durchströmen ein Wärmetauscherteil und geben dabei ihre Wärme an die keramische Füllmasse des Wärmetauscherteils ab. Nach ausreichender Wärmeabsättigung dieser Füllmasse (ca. 1,5 bis 2,5 Minuten Durchströmzeit) wird der Gasweg umgeschaltet, indem das ankommende "kalte" Rohgas nun in umgekehrter Richtung zum Reingasstrom durch die Wärmetauschermasse geleitet wird. Dabei erhitzt sich das Abgas bis auf ca. 760 °C, so dass für den eigentlichen Verbrennungsprozess des Abgases nur noch 40 °C Zuheizung erforderlich sind. Diese 40 °C können darüber hinaus durch die Verbrennung der Lösemittelbestandteile – die Exothermie – zur Verfügung gestellt werden. Da 1 g/m<sup>3</sup> Lösemittel ca. 20 °C Temperaturerhöhung ermöglicht, wären rund 2 g Lösemittel/m<sup>3</sup> im Abgas notwendig, um eine autotherme Nachverbrennung zu erreichen. Dies ist jedoch nur bei bestimmten Prozessgegebenheiten (hohe Beschichtungsstärken) möglich. Im Normalfall bei geringen Beschichtungsdicken (z. B. <5 µm) entstehen Abgaskonzentrationen mit <1 g/m<sup>3</sup>, so dass eine Zuheizung notwendig ist. Das Prinzip einer solchen Abgasreinigungsanlage zeigt Bild 1. Bild 2 zeigt eine Ansicht der bei der Fa. Rheinzink realisierten Anlage.

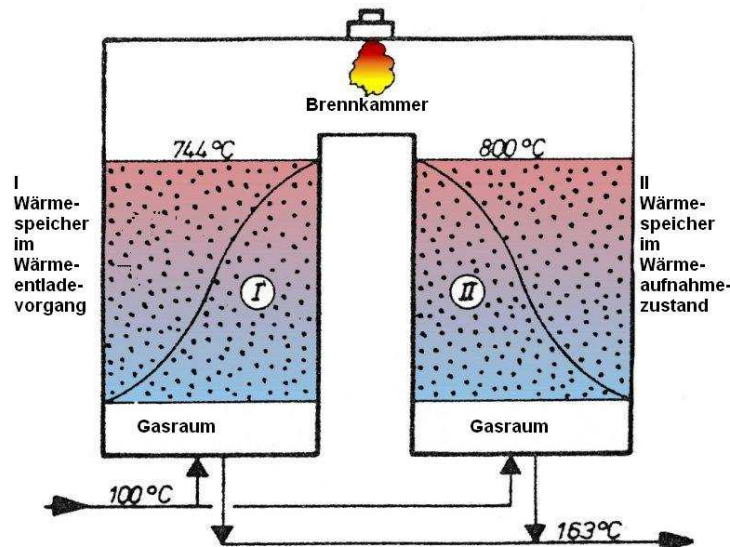


Bild 1 – Prinzip der Regenerativen Abluftreinigung



*Bild 2 – Ausgeführte Regenerative Abluftreinigungsanlage bei Fa. Rheinzink für 32.000 m<sup>3</sup>/h  
Quelle: Fa. Rheinzink*

**Fa. Rheinzink GmbH & Co. KG, Datteln**

### 1.3 BESCHREIBUNG DES STANDES DER TECHNIK ZUR VERRINGERUNG DES ENERGIEBEDARFS BEI BESCHICHTUNGSTROCKNUNG MIT NACHGESCHALTETER ABGASREINIGUNG

Eine Maßnahme zur Minderung des Energieverbrauches des Gesamtsystems ist z. B. eine Mehrfachnutzung der Trocknerabluft. Dies wird in ähnlichen und anderen Industriebereichen umgesetzt.

Maßnahmen wie die direkte Aufkonzentration des Abgases durch Rückführung der nur teilgesättigten Trocknungsluft in den Trockner (Umluftbetrieb), oder Aufkonzentrationsmaßnahmen senken den Energiebedarf und führen zur Kostenneutralität des Abgasreinigungsverfahrens. Durch die Aufkonzentration können kleinere betriebskostengünstigere Abgasreinigungsanlagen eingesetzt werden, die insbesondere eine hohe Nutzung der in den Lösemitteln enthaltenen Wärmeenergie erlauben.

Die Mehrfachnutzung der Trocknungsluft hat sich bei Trocknern für die Zinkbandbeschichtung aufgrund des geringen Wettbewerbs unter den wenigen Lieferanten dieser Trockner noch nicht durchgesetzt im Gegensatz zu ähnliche Trocknungsprozessen in anderen Branchen (z.B. Trocknung in der Druckindustrie für Rollenware) [2]. Auch die bei Großtrocknern nach Bandstahlbeschichtungsanlagen möglichen und seit mehr als 30 Jahren bekannten Abgasrückführungseinrichtungen sind bis dato in der Zinkbandbeschichtung nicht verfügbar.

Eine vergleichsweise unproblematisch durchzuführende Modifikation des Systems aus Trockner und Abgasreinigungsanlage kann jedoch ebenfalls zur Senkung des Energiebedarfs und zu einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeit führen. Diese Modifikation besteht darin, einen Teil des heißen Reingases in den Trocknungsprozess zurückzuführen. Durch die im Überschuss vorhandene Wärme des Reingases kann der Gasverbrauch der Brenner für die Trocknung verringert und damit der Energiebedarf solcher Beschichtungsverfahren insgesamt erheblich reduziert werden.

Für die im Trocknungsprozess und in der Abgasreinigungsanlage eingesetzten Brenner ist ein Sauerstoffgehalt von bis zu 16% im Reingases unkritisch für dessen Rückführung. Die Rückführung des heißen Reingases reduziert die erforderliche Trocknungsluft um den Rückführungsanteil sowie um die Verbrennungsluft der Brenner proportional zur eingesparten Primärenergie. Insbesondere beim Vorliegen höherer Abgaskonzentrationen ( $>2 \text{ g/m}^3$ ) stellt die direkte Rückführung von Heißgas die wirtschaftlichste Option einer Wärmerückgewinnung dar. Die ansonsten durch Wärmeübertragungssysteme zu berücksichtigenden Verluste entfallen.

Übertragen auf Bandbeschichtungssysteme mit höherer Laufgeschwindigkeit (Stahl-/Aluminiumindustrie) und den hiermit verbundenen höheren Abgaskonzentrationen bedeutet dies, dass mit einer sekundären Abwärmennutzung und bei einer Abgaskonzentration von ca.  $6 \text{ g Lösemittel/m}^3$  nicht nur der Abgasreinigungsbetrieb betriebskostenneutral (Heizenergie), sondern die gesamte Beschichtung der Bänder ohne Zusatzenergie für die Trocknung realisiert werden kann.

Aber auch bei geringerer Lösemittelbeladung stellt die Rückführung der heißen Reingase eine erheblich kostenreduzierende Maßnahme dar, weil in diesem Falle der Wärmetauscherwirkungsgrad der Regenerativen Anlage nicht verringert, andererseits die sonst benötigte Frischluft für die Trockner um den Anteil der rückgeführten Abluft proportional abgesenkt wird.

Diese Heißgasrückführung sollte im Rahmen des Vorhabens großtechnisch umgesetzt und darüber hinaus untersucht werden, ob mit dem Heißgas Staubpartikel aus der Abgasreinigungsanlage ausgetragen werden, welche die Qualität des Lacküberzuges mindern könnten.



## 2 VORHABENSUMSETZUNG

### 2.1 ZIEL DES VORHABENS

Das Projekt hatte zum Inhalt, eine Heißgasausschleusung aus der Abgasreinigungsanlage zum Trockner hin zum Zwecke der Verbesserung der Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems umzusetzen und den praktischen Betrieb mit der so modifizierten Anlage zu untersuchen.

Im dauerhaften Betrieb sollte der Nachweis der Nutzbarkeit der Heißgasausschleusung und deren Verwendung zur Trocknung der Beschichtung ohne Qualitätseinbußen bei der Beschichtung erbracht werden.

Darüber hinaus sollte der reduzierte Energiebedarf pro Beschichtungseinheit im Vergleich zum Stand der Technik nachgewiesen werden.

### 2.2 DARSTELLUNG DER TECHNISCHEN LÖSUNG

Zur Lösung der Aufgabe wurde durch die Fa. Rafflenbeul Ingenieure vorgeschlagen, das heiße Reingas (800 °C) über einen Mischkasten mit der benötigten Trocknungsluft zu homogenisieren und dann dem Trockner zuzuführen. In diesem Falle wäre eine Temperatur von näherungsweise 170 bis 180 °C ausreichend gewesen, um die in den Trocknern installierten Brenner im Mindestlastbereich ihres Regelverhaltens zu betreiben.

Eine solche Verfahrensoption wurde zunächst geplant und an Lieferanten für Abluftreinigungsanlagen ausgeschrieben. Im Zuge der Stellungnahmen dieser Firmen wurde jedoch deutlich, dass keine Garantie für die Staubfreiheit der aus der Abluftreinigungsanlage ausgeschleusten Heißluft übernommen werden konnte. Fachfirmen, wie bspw. KBA MetalPrint, Eisenmann oder Envirotec, die als Lieferanten solcher Anlagen am Markt bekannt sind, machten darauf aufmerksam, dass eventuell Staub im Innern der Abluftreinigungsanlage durch inneren Abrieb erzeugt werden könnte. Die Trocknungsluft könnte damit kontaminiert und hierdurch Qualitätsminderungen der Beschichtungsoberfläche (Lackoberfläche) nicht ausgeschlossen werden.

Aus diesem Grunde wurden Überlegungen angestellt, die Heißluft zu filtrieren, um das Risiko einer solchen Kontaminierung zu vermindern. Hierzu wurden namhafte Firmen für Filteranlagen ausgeschrieben [3]. Die Antworten und Ergebnisse dieser Firmen waren negativ, indem keine ausreichende Abscheideleistung der Filtration in Aussicht gestellt wurde und indem ergänzend hierzu von Anlagenlieferanten [4] auch negative Erfahrungen mit solchen Filtrationssystemen mitgeteilt wurden. Besonders problematisch und anwendungstechnisch hindernd ist der enorme Preis solcher Filtrationsanlagen, der für den hier vorliegenden Fall mit ca. 1 Mio. € kalkuliert wurde (die Abgasreinigungsanlage selbst war mit <1 Mio. € ausgewiesen).

Die Alternative zu einer konventionellen Filtrationsanlage war die Verwendung temperaturbeständiger Metallgaze, die jedoch nicht zur Abscheidung von Feinstpartikeln eingesetzt werden kann. Eine solche Metallgaze wird bspw. von Fa. Seebach GmbH in Vellmar angeboten. Im Zuge der Untersuchungen war deshalb zu prüfen, ob eine Feinstaubkontamination des Reingases gegeben ist und – sofern ja – mit welchen Partikeldurchmessern zu rechnen ist. Hierbei war nach Erfahrungswerten der Hersteller der Regenerativen Abgasreinigungsanlagen zunächst mitgeteilt worden, dass voraussichtlich keine Feinstpartikel (<0,5 µm) gebildet werden, dass jedoch andererseits ein gelegentliches Auftreten von Grobstaub nicht auszuschließen ist. Dieser Grobstaub könnte z. B. bei Temperaturbelastungen der zur Wärmerückgewinnung eingesetzten Waben

**Fa. Rheinzink GmbH & Co. KG, Datteln**

entstehen, wenn diese nach längerem Betrieb durch thermische Belastung Schäden erleiden oder der Staub durch mechanisches Verschieben bei Aufheiz- und Temperaturabklingvorgängen gebildet wird. Auch eventuell mögliche Belastungen mit Fasern aus der Isolierung sind nach den mitgeteilten Erfahrungswerten namhafter Firmen (Fa. Envirotec, Fa. Hasselroth, Fa. KBA MetalPrint, Fa. caverion) wahrscheinlich nicht als Feinstaub sondern partikulär mit >10 bis 15 µm äquivalentem Korndurchmesser zu erwarten. Insofern durfte eine ausreichende Erfolgswahrscheinlichkeit für die Durchführung der Aufgabe vorausgesetzt werden. Dies führte zur Beantragung und zur Realisierung des Vorhabens der Abgasrückführung Heißgasrückführung bei der Fa. Rheinzink.

**2.2.1 Aufbau der Demonstrationsanlage**

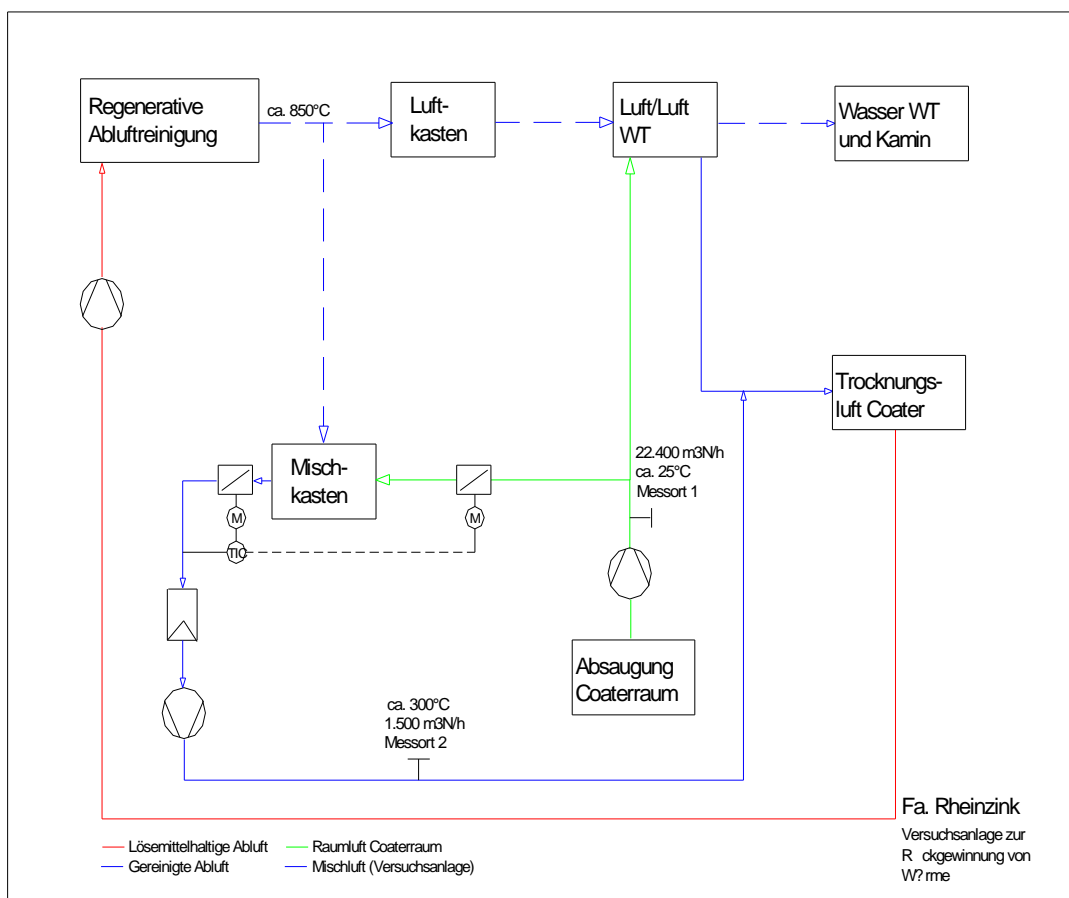


Bild 3 – Schematische Darstellung der Anlage

Das Schema der Anlage ist in Bild 3 dargestellt. Hiernach wird ein Teil des aus der Brennkammer abströmenden Heißgases (blau gestrichelte Linie) über eine Bypassstrecke dem Abgasstrom entnommen und mit der Raumluft des sogenannten Coater-Raumes (Aufstellungsraum des Trockners, grüne Linie) zur Absenkung auf <400 °C verdünnt. Zum Transport ist das Gebläse V1 installiert, welches saugseitig mit einer Temperatur bis 450 °C beaufschlagt werden kann. Diesbezüglich wurde ein Filtermaterial mit Kurzzeittemperaturbeständigkeit bis 400 °C eingesetzt. Filtermedien für höhere Temperaturen standen nicht zur Verfügung.

Vor und nach dem Gebläse befinden sich Messstellen (M1 und M2), mit denen die zur Messung der Staubkonzentration notwendigen Probeentnahmen realisierbar sind. Das mit Raumluft vermischte und gefilterte Reingas wird in den Trocknungsprozess zurückgeführt.

Als Filter wurde ein Luftfilter des Typs CFC02029006 mit dem Filterelement Multitherm MT90C-1500/V2BV eingesetzt. Der Filter ist in den Abbildungen 4 bis 6 fotografisch dargestellt.



*Bild 4 – Filter*



*Bild 5 – Flanschbereich Filteranlage*



*Bild 6 – Innenansicht des Filters*

### 2.3 DARSTELLUNG DER UMSETZUNG DES VORHABENS

Wie bereits erwähnt, war es nicht möglich, ein (für die spätere Praxis) ausreichend kostengünstiges Filtersystem für eine Filtration der ausgeschleusten Heißluft einzusetzen. Die spezifischen Preise pro Quadratmeter Filterfläche für temperaturbeständige keramische Filterkerzen sind so hoch, dass sie nur für Kleinst- oder Sonderanwendungen nutzbar sind. Eine technische Realisierung war aufgrund der hohen Investitionskosten unwirtschaftlich. In Anbetracht dieser Einschränkung wurde das Filter so geplant, dass es erst nach der Mischstrecke (dem Mischkasten) zum Einsatz gelangt, nachdem der ausgeschleuste Heißgasstrom mit der Frischluft zusammengeführt wurde und damit eine Temperaturabsenkung auf  $<250\text{ °C}$  sichergestellt wird. Bei dieser Temperatur kann das eingesetzte Filtermaterial dauerhaft betrieben werden. Durch Untersuchungen war generell zu prüfen, ob die ausgeschleuste Heißluft bereits ausreichend staubfrei ist oder ob eine Staubbelastung vorliegt, die eine Filtration der Heißluft erfordert.

Für die Durchführung der Untersuchungen war es erforderlich, die technische Anlage mit entsprechenden Anschlussstellen zur Reingasausschleusung zu versehen. An dieser Ausschleusung wurden die Staubmessung nach einem längeren Betrieb der Anlage durchgeführt.

### 3 ERGEBNISSE

#### 3.1 BEWERTUNG DER VORHABENSDURCHFÜHRUNG

Zusammengefasst erbrachten die Untersuchungen folgende Ergebnisse:

1. Die beim stationären Betrieb der Abluftreinigung anfallenden Staubkonzentrationen und Staubmassenströme haben keine Auswirkungen auf die Qualität des Endproduktes.
2. Die Steuerung zur Heißgasausschleusung kann über spezielle Klappen realisiert werden, hierbei sind Genauigkeiten von +/- 5 °C für die Trocknungsluft zu berücksichtigen. Die Feineinstellung der Trocknungstemperatur kann gegebenenfalls durch Sekundärluftbeimischung oder durch Nutzung der in den Trocknern integrierten Gasbrenneranlagen realisiert werden.
3. Die Einsparungen sind erheblich und erlauben Anwendungen des RTO-Verfahrens auch bei Konzentrationen <1 g/m<sup>3</sup> Abluft.

#### 3.2 STOFF- UND ENERGIEBILANZ

Die Einsparung an Energie ist über die Höhe der rückgeführten Abluftmenge direkt bilanzierbar. Hierbei ergeben sich bei der Fa. Rheinzink die nachfolgend dargestellten Einsparungen. Bei der Bandbeschichtung von Aluminium- und Stahloberflächen sind wesentlich größere Einsparungen wegen der höheren Bandgeschwindigkeiten und der damit verbundenen wesentlich höheren Abgaskonzentrationen erreichbar. Für Fa. Rheinzink gelten die in den Unterpunkten nachfolgenden Daten.

##### 3.2.1 Luftmassenströme

Trocknungsluftbedarf des Bandtrockners:	32.000 m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /h
Rückführungsanteil:	<u>6.000 m<sup>3</sup><sub>N</sub>/h</u>
Es verbleiben:	<u>26.000 m<sup>3</sup><sub>N</sub>/h</u> als zuzuführende Frischluft.

##### 3.2.2 Temperaturen

Lufteintrittstemperatur in den Bandtrockner:	12 °C
Mittlere Trocknerbetriebstemperatur:	230 °C
Austrittstemperatur nach der Abluftreinigungsanlage:	85 °C
Betriebstemperatur in der Brennkammer:	800 °C

Ablufttemperatur vor Eintritt in die Abluftreinigungsanlage: 200 bis 250 °C (im Mittel 230 °C)

### 3.2.3 Energiebedarf

Hieraus resultiert der Energieaufwand für die Abgasreinigung und die Trockner wie folgt:

$$26.000 \text{ m}^3_{\text{N}}/\text{h} \times 1,32 \text{ kJ/m}^3 \times \text{°C} \times (85 - 12) \text{ °C} = 2,5 \text{ GJ/h}$$

entsprechend: **693 kW**

Dies entspricht einer Erdgasmenge von

**70 m<sup>3</sup>/h.**

Bei einem Heizwert des Lösemittels von ca. 42.000 kJ/kg entspricht dies einer erforderlichen Konzentration der aus dem Trockner austretenden (32.000 m<sup>3</sup><sub>N</sub>/h) Abluft von

**1,9 g Lösemittel/m<sup>3</sup><sub>N</sub> Trocknerabluft.**

Sind Lösemittel mit einem geringeren Heizwert im Abgas enthalten, erhöht sich der für einen autothermen Betrieb erforderliche Konzentrationswert proportional.

Zum autothermen Betrieb des Trockners müssen

a) ca. 6.000 m<sup>3</sup><sub>N</sub>/h Heißgas mit 800 °C den 26.000 m<sup>3</sup><sub>N</sub>/h beigemischt werden.

Hierbei sind

b) die 26.000 m<sup>3</sup><sub>N</sub>/h Frischluft über sekundäre Wärmerückgewinnung aus dem gereinigten Abgas (Warmwasserkreislauf) von 12 °C auf ca. 90 °C vorgewärmt worden.

Demgegenüber verbraucht ein Bandtrocknungssystem gleicher Art jedoch ohne Heißgasrückführung zumindest jenen Betrag an Energie mehr, der über die Wärmetransferverluste der Abwärmrückgewinnung, über die Brennergrundlasteinstellung nach dem Stand der Technik, insbesondere jedoch über die ausgetragene Wärmeenergie des nicht zurückgeführten Reingasteils bilanzierbar ist.

Dies entspricht bei einer Temperaturdifferenz des Reingases zur eintretenden Frischluft für den erhöhten Frischluftbedarf von

$$(85 \text{ °C} - 12 \text{ °C}) \times 6.000 \text{ m}^3_{\text{N}}/\text{h} \cdot 0,36 \text{ W/m}^3_{\text{N}}/\text{h} \times \text{°C} = 158 \text{ kW} \text{ oder gerundet}$$

**16 m<sup>3</sup>/h Erdgaseinsparung.**

Das bedeutet bei einer äquivalenten Bewertung dieser eingesparten Energie und einem geringfügigen Zuschlag für ansonsten auftretende Wärmetransferverluste, dass bereits ab einer Abluftkonzentration von ca. 1,5 g/m<sup>3</sup> die Autothermie (im Vergleich zu den zuvor ausgewiesenen 1,9 g/m<sup>3</sup><sub>N</sub>) für eine solche Bandtrocknung und Abluftreinigung erreicht wird.

Zusammengefasst:

**Die Aufwendungen an Primärenergie eines Bandtrockners, inklusive Abgasreinigungsanlage, können bei der Nutzung einer modernen Abgasreinigungsanlage in Verbindung mit einer Reingastrückführungsmaßnahme um**

**22 %**

**verringert werden. Proportional hierzu verringert sich der CO<sub>2</sub>-Ausstoß (siehe 3.3).**

3.3 UMWELTBILANZ

**3.3.1 Minderung des jährlichen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes**

Die unter 3.2.3 aufgezeigte Verringerung des Verbrauches an Energieträgern für die Beheizung der Trockner, die durch die Installation einer Heißgasrückführung erreicht wird, entspricht unter den bei Fa. Rheinzink gegebenen Bedingungen (theoretisch) einer Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes gemäß:

$$16 \text{ m}^3/\text{h Gas} \times 2.000 \text{ g CO}_2 / \text{m}^3 \text{ Gas} \times 8.000 \text{ Bh/a} = \mathbf{260 \text{ t/a}}$$

wobei eine Produktionszeit von 8.000 h/a bei den bereits benannten Trocknertemperaturen und erforderlichen Luftmengen zugrundegelegt ist. Bezogen auf ca. 80 Anlagen in Europa mit im Mittel ähnlichen Betriebsvoraussetzungen entspricht dies einer Reduktion von ca. >20.000 t Kohlendioxid pro Jahr.

**3.3.2 Produktspezifische Minderung des Gasverbrauches und CO<sub>2</sub>-Ausstoßes**

Die im Bandbeschichtungstrockner durchgesetzte Materialmenge beträgt bei der bereits benannten Bandgeschwindigkeit und einer Bandbreite von 1 m:

**Flächendurchsatz:**  $60 \text{ m} / \text{min} \times 1 \text{ m} = 60 \text{ m}^2/\text{min}$  bzw. **3.600 m<sup>2</sup>/h**

Bei einer Banddicke von 0,8 mm und einer Materialdichte von 7,0 kg/dm<sup>3</sup> des zu beschichtenden Zinkbandes ergibt sich ein:

**Massendurchsatz:**  $60 \text{ m}^2 / \text{min} \times 0,8 \text{ mm} \times 7,0 \text{ kg/dm}^3 = 336 \text{ kg/min}$  bzw. **20 t/h**

Damit lässt sich die durch die Verwendung der Heißgasrückführung erzielbare spezifische flächen- und massenbezogene Verringerung des Gasverbrauches und des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes ermitteln:

	<b>ohne</b> Heißgasrückführung (70 m <sup>3</sup> Gas/h, 140 kg CO <sub>2</sub> /h)	<b>mit</b> Heißgasrückführung (54 m <sup>3</sup> Gas/h, 108 kg CO <sub>2</sub> /h)	Verringerung durch Heißgasrückführung
massenbezogener Gasverbrauch in <b>m<sup>3</sup>/t Produkt</b> (20 t/h)	3,5	2,7	0,8
massenbezogene Emission in <b>g CO<sub>2</sub>/t Produkt</b> (20 t/h)	7.000	5.400	1.600

*Tabelle 1: Spezifischer Gasverbrauch und spezifische Emissionen an CO<sub>2</sub>*

3.4 KONZEPTION, DURCHFÜHRUNG UND ERGEBNISSE DES MESSPROGRAMMS

Die Ergebnisse wurden nach ca. einem Jahr Betriebszeit ermittelt. Hierbei wurden folgende Messwerte durch ein nach §26 BImSchG anerkanntes Institut erarbeitet [5]:

**Staubmessung: Abluft Coater-Raum**

Probe Nr.	Probenahme		Probenvolumen * m³	abgesaugte Masse/Probe	Massenkonzentration * mg/m³
	Beginn	Dauer		mg	
1	15:48	15 min	1,165	<0,2	<0,2
2	16:15	15 min	1,353	<0,2	<0,2
Mittlere Massenkonzentration *					<0,2
Maximale Massenkonzentration *					<0,2
Abgasmenge *					22.405 m³/h
Mittlerer Massenstrom					<0,005 kg/h
Maximaler Massenstrom					<0,005 kg/h

Tabelle 2: Messpunkt 1

**Staubmessung: Abluft nach Filter**

Probe Nr.	Probenahme		Probenvolumen * m³	abgesaugte Masse/Probe	Massenkonzentration * mg/m³
	Beginn	Dauer		mg	
1	15:48	15 min	0,522	<0,2	<0,4
2	16:15	15 min	0,533	<0,2	<0,4
Mittlere Massenkonzentration *					<0,4
Maximale Massenkonzentration *					<0,4
Abgasmenge *					1.535 m³/h
Mittlerer Massenstrom					0,31 * 10 <sup>-3</sup> kg/h
Maximaler Massenstrom					0,31 * 10 <sup>-3</sup> kg/h

Tabelle 3: Messpunkt 2

\* bezogen auf den Normzustand, trocken (1.013 hPa, 273 K)

Für den Fall, dass die ermittelte Masse/Probe kleiner ist als die vom Messinstitut angegebene Nachweisgrenze, wurde diese der Berechnung der Massenkonzentrationen zugrundegelegt. Die Inspektion des Filtermaterials erbrachte auch den visuellen Nachweis, dass keine Grobpartikel oder Verschmutzungen auf dem Filter abgelagert werden (Bild 6). Die in Bild 5 am Flanschinnenbereich (Voreintritt) ersichtlichen Ablagerungen sind als fest angebackene metallische Verunreinigungen gegeben, die Filterfläche selbst ist ohne äußere Verschmutzung.



**Fa. Rheinzink GmbH & Co. KG, Datteln**

Die Messergebnisse weisen aus, dass keine signifikanten Staubkonzentrationen im gereinigten Abgas auftreten, die eine Rückführung verhindern würden. Die von den Anlagenlieferanten als möglich charakterisierte Feinablösung von Keramikstaub und dessen Mitführung im Reingas ist nicht relevant.

Größere Staubpartikel, die aus dem bereits beschriebenen Abrieb der Waben entstehen, können über einen Zyklon oder über Metallgwerk in ausreichender Form abgeschieden werden.

Insofern empfiehlt sich die direkte Rückführung von Heißgas in den zur Trocknung des Metallbandes bereitgestellten Trocknungsluftstrom. Dies beinhaltet, dass bei Abluftkonzentrationen  $>6 \text{ g/m}^3$  auch die Trocknungsluftzubereitung über die Abluftreinigungsanlage gestaltbar wird. Die in den Trocknern befindlichen Brennersysteme zur Trocknungslufterwärmung können hierbei überfahren werden und nur dann zum Einsatz gelangen, wenn aufgrund geringer Abluftkonzentrationen eine Heißgasausschleusung wegen der dann zu beachtenden Reduktion des Wärmetauscherwirkungsgrades im Abluftreinigungssystem selbst nicht empfohlen werden kann.

### 3.5 WIRTSCHAFTLICHKEITSANALYSE

#### 3.5.1 Betriebskosteneinsparungen

Die unter 3.2.3 dargestellte Verringerung des Verbrauches an Energieträgern für die Beheizung der Trockner, die durch die Installation einer Heißgasrückführung erreicht wird, entspricht bezogen auf die bei Fa. Rheinzink gegebenen Bedingungen (theoretisch, bei einem zugrundegelegten Erdgaspreis von ca.  $0,4 \text{ €/m}^3$ ) pro Jahr ca.

$$8.000 \text{ Betriebsstunden} \times 16 \text{ m}^3/\text{h} = \mathbf{130.000 \text{ m}^3 \text{ Erdgas/Jahr}} = \text{ca. } 50.000 \text{ € / a}$$

zuzüglich der weitgehenden Einsparungen für Pumpen zum Betreiben des ansonsten erforderlichen Medientransfers der konventionellen Wärmeübertragungssysteme (Thermalöl und Wasser!) mit:

$$>30 \text{ kW} \times 8.000 \text{ Bh/a} \times 0,08 \text{ €/kWh} = \text{ca. } 19.000 \text{ € bzw gerundet gesamt}$$

#### **70.000 €/a Energiekosteneinsparung**

Tatsächlich ist es ein Betrag mit mindestens anderthalbfach höherem Wert, da die Bandtrocknungsanlagen mehr Energie verbrauchen, als dies für die zuvor durchgeführten Rechengänge, die nach dem heute best möglichen Stand der Technik vorausgesetzt sind, berücksichtigt wurde.

#### 3.5.2 Investitionskosteneinsparungen

Nicht unerwähnt darf die erhebliche Investitionskosteneinsparung im Vergleich zum Stand der Technik bleiben, da die Investition für eine solche Rückführung nur ca. 50% im Vergleich zu sekundären Abwärmerückgewinnungssystemen beträgt (z. B. Thermalöl-/Warmwasserwärmetauscher). Sekundäre Abwärmerückgewinnungssysteme sind dann nicht mehr erforderlich.

**Fa. Rheinzink GmbH & Co. KG, Datteln****Gegenüberstellung der Wirtschaftlichkeit des Verfahrens bei ca. 20% Heißgasrückführung**

Aufwendungen für die Herstellung einer solchen Rückführungseinrichtung:

Die Aufwendungen bestehen aus einem wärmeisolierten Bypassrohr, mit dem das Heißgas in eine Luftmischkammer geführt wird, in der es mit Umgebungsluft auf 180 °C zwecks Nutzung als Trocknungsluft homogenisiert wird.

Dieses Bypassrohr ist mit einer hochtemperaturbeständigen Klappe zur Steuerung der Luftmenge versehen (solche Klappen sind heute Stand der Technik), die bspw. am Ende der Anlage zur Heißgasausschleusung bei Überkonzentration bereits vorhanden ist.

Die Kosten hierfür sind wie folgt:

Installation des Heißgasrohres, inklusive Montage und Isolierung:	30.000 €
Herstellung der Mischkammer mit Unterdrucksicherung und redundanter Temperaturregelstrecke, einschließlich Notentlastungsorgan und Falschluftezufuhr bei Betriebsstörungen:	30.000 €
MSR-Technik, bestehend aus einem Schaltkasten zur Verarbeitung der eingehenden Temperaturen, dem Regelungsteil für die Steuerung der Klappe, inklusive Sicherheitseinrichtungen:	10.000 €
Sonstige Sicherheitseinrichtungen (z. B. gewichtsbelastete Klappe bei Störungen der Unterdruckabgleichfunktion):	5.000 €
Filtereinrichtung mit Drahtgewebe:	35.000 €
Zusätzliche Aufwendungen (Engineering, Platzvorbereitung usw.) pauschal:	<u>10.000 €</u>
Für die Herstellung eines solchen Rückführungssystems sind somit: als Investition zu berücksichtigen.	<b><u>120.000 €</u></b>

Diesen Aufwendungen stehen folgende Investitionskosteneinsparungen gegenüber:

Wegfall der Wärmetransfereinrichtungen für mittelvalente Wärme: (Thermalöl, sofern Trocknertemperaturen >100 °C gegeben sind).	<b>-120.000 €</b>
Verkleinerung der Wärmetransfereinrichtung für Warmwasser:	<b><u>-30.000 €</u></b>
Es ergeben sich somit Einsparungen in Höhe von:	<b><u>-150.000 €</u></b>

**Der negative Investitionswert bedeutet eine Investitionskostenverringerung beim Kauf von Neuanlagen.**

### 3.6 TECHNISCHER VERGLEICH ZU KONVENTIONELLEN VERFAHREN

Die Heißgasrückführung in den Trocknerbereich ist eine empfehlenswerte und hinsichtlich des Umweltschutzes nachhaltige Maßnahme, beim Einsatz von Regenerativen Abgasnachverbrennungsanlagen, die vorrangig bei Bandbeschichtungsanlagen auch in der Stahl- und Aluminiumindustrie mit Abluftmassenströmen bis zu  $<50.000 \text{ m}^3_{\text{N}}/\text{h}$  eingesetzt werden. Hierbei ist als besonders wichtiges Ergebnis hervorzuheben, dass das Heißgas ohne aufwendige (teure) Heißgasfiltration sondern nur über Metallgestrick zur Zurückhaltung von Grobpartikeln ableitbar ist. Dies ermöglicht kleine Leitungsabmessungen und insbesondere die hohe Ausnutzung der im Überhang gegebenen Wärmeenthalpie des Heißgases. Die ansonsten optional zu erwägende Alternative wäre die Abkühlung des rückzuführenden Heißgases auf die für konventionelle Filtersysteme (ca.  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ ) noch mögliche Prozesstemperatur. Die Maßnahmen für diese Abkühlung hätte dann jedoch zur Folge, dass sich die ausgewiesene Amortisationszeit von ca. zwei Jahren voraussichtlich auf sechs bis sieben Jahre erhöht hätte aufgrund der erforderlichen großen Filteranlagen (für den dann großen Trocknungsluftanteil) und den damit verbundenen höheren Investitionskosten.

## 4 EMPFEHLUNGEN

Kennzeichnend für viele Anwendungen innerhalb der Beschichtungsbranchen sind die niedrigen VOC-Konzentrationen der Abluftströme. Hierbei bezieht sich "niedrig" auf eine Konzentration  $<2 \text{ g/m}^3$ , da unterhalb dieser Konzentration Zusatzenergie zum Betrieb der Abgasreinigungsverfahren erforderlich wird. Diese niedrige VOC-Konzentration resultiert insbesondere aus dem hohen Trocknungsluftbedarf, der thermodynamisch zum Erreichen einer kurzen Trocknungszeit notwendig ist. Weiterhin erfordert die Größe der Trockner in Bezug auf das eingesetzte Beschichtungsmaterial eine erheblich über den theoretisch ersichtlichen Luftmengenbedarf hinausgehende Trocknungsluftmenge.

Aufgrund des geringen Konzentrationsniveaus an organischen Bestandteilen in der Abluft gelingt es in der Regel nicht, die Regenerative Abluftreinigung –autotherm zu betreiben, d.h. die thermische Oxidation der Lösemittlemissionen ohne das Zuführen von Fremdenergie zu realisieren. Eine autotherme Betriebsweise wird bei modernen Abgasreinigungssystemen bei Konzentrationen zwischen  $1,8$  bis  $2,5 \text{ g Lösemittel/m}^3$  Abluft (Trocknungsluft) erreicht. In einer Vielzahl von großtechnischen Beschichtungsanlagen (ausgenommen z.B. Anlagen der Automobilindustrie) werden Abluftkonzentrationen von  $<1 \text{ g/m}^3$ , oftmals lediglich von  $<0,3 \text{ g/m}^3$  aufgrund der benötigten sehr großen Luftmengen (teilweise  $>200.000 \text{ m}^3_{\text{N}}/\text{h}$ ) erreicht, z. B. bei der Großfahrzeug- oder Flugzeuglackierung. Es sind deshalb enorme Erdgasmengen als Zusatzheizenergie (bis  $250 \text{ m}^3_{\text{N}}/\text{h}$ ) erforderlich. Aber auch Großlackierer, wie bspw. namhafte Hersteller für lackierte Aluminiumbandware, verbrauchen in der Bundesrepublik  $>2,2 \text{ Mio. m}^3_{\text{N}}/\text{a}$  an Erdgas<sup>1</sup>.

Insofern kann durch die Heißgasrückführung eine erhebliche Energiekosteneinsparung und eine signifikante Verminderung des  $\text{CO}_2$ -Ausstoßes für zukünftige moderne Verfahrenskonzepte der Abgasreinigung nach Bandbeschichtungsanlagen konstatiert werden.

Für größere Verfahren mit erheblich mehr Abluftanfall ( $>50.000 \text{ m}^3_{\text{N}}/\text{h}$ ) sind im Jahr 2007 neue Verfahrenstechniken vorgestellt worden, mit denen durch Aufkonzentration der Gesamtemission

---

<sup>1</sup> Die Angaben sind bedauerlicherweise vertraulich, so dass der Aufsteller die Firma nicht benennen darf, es wird hiermit jedoch versichert, dass es sich bei diesem Betrieb, z. B. in Norddeutschland, um einen repräsentativen Betrieb in dieser Branche handelt.

**Fa. Rheinzink GmbH & Co. KG, Datteln**

ein anderer Verfahrensweg über die Verwendung von Rotationsadsorbern mit vorgeschaltetem Festbettadsorber und nachgeschalteter Regenerativer Abgasreinigungsstufe zu bevorzugen ist.

Durch die Weiterentwicklung der Molekularsiebfestbettadsorber mit konditionierten Zeolithen konnte die Vorabscheidung hochmolekularer Verbindungen preiswert realisiert werden [3]. Die bis zu diesem Zeitpunkt mit erheblichem Vorbehalt anzuratenden Rotationsadsorber zur Aufkonzentrierung gering konzentrierter Emissionen können deshalb zunehmend mit erheblich verringertem Risiko eingesetzt werden. Insbesondere bei Abgasvolumenströmen von  $>50.000 \text{ m}^3_{\text{N}}/\text{h}$  werden deshalb in der Zukunft in Reihe geschaltete Molekularsiebadsorptionsanlagen, bestehend aus einem Festbettadsorber mit preiswertem Molekularsieb zur Aufnahme der schädigenden Abgasbegleitstoffe (für das nachgeschaltete Aufkonzentrierungsrad) dann empfehlenswert, wenn Konzentrationsprofile mit überwiegend  $<1 \text{ g}/\text{m}^3_{\text{N}}$  vorliegen.

Anlagen mit einem Abluftmassenstrom bis ca.  $50.000 \text{ m}^3_{\text{N}}/\text{h}$ , die insbesondere in der Aluminium- aber auch in der Stahlindustrie gegeben sind, sollten bei zukünftigen Realisierungen mit entsprechenden Reingastrückführungen geplant werden.

#### 4.1 ZUSAMMENFASSUNG

Zusammengefasst leiten sich folgende Empfehlungen aus den Untersuchungsergebnissen ab:

- Die Heißgasausschleusung nach Direkt Regenerativen Abluftverbrennungsanlagen im industriellen Bereich der Bandbeschichtung ist, auch über die Anwendung der Bandbeschichtung hinausgehend, eine effektive und wirtschaftliche Form zur Energiebedarfsreduktion und zur Verbesserung der Nachhaltigkeit des Umweltschutzes.
- In Verbindung mit sekundären Abwärmerückgewinnungssystemen wird ab ca.  $2 \text{ g}/\text{m}^3$  Lösemittel in der Abluft nicht nur der autotherme Betrieb der Abluftreinigungsanlage selbst sondern auch die Autothermie des Gesamtverfahrens erreicht.
- In Verbindung mit einer Heißgasausschleusung sind generell nur niedervalente Wärmerückgewinnungssysteme dann ausreichend, wenn Trocknungstemperaturen  $>100 \text{ °C}$  Anwendung finden.
- Die Heißgasausschleusung reduziert die heute nach Bandbeschichtungsprozessen gegebenen Primärenergiebedarfswerte und hiermit verknüpft die  $\text{CO}_2$ -Emission um bis zu 25%.
- Eine Feinstaubfiltration ist nicht erforderlich. Zur Zurückhaltung größerer Partikel werden Tiefbettfaserfilter als Metallgaze empfohlen. Hierbei sind Keramikteilchen, die erfahrungsgemäß aus Abluftreinigungsanlagen ausgetragen werden, mit  $>100 \text{ }\mu\text{m}$  äquivalentem Korndurchmesser eingeschätzt. Aus dieser Erkenntnis ergibt sich eine Empfehlung für die spezifische Filtergeschwindigkeit mit  $>500 \text{ m}^3/\text{m}^2$  Filterfläche.

**5 LITERATUR**

- [1] Rafflenbeul, Rolf: Leitfaden zur Luftreinhaltung und Abluftreinigung. Auflage 4.2005.
- [2] Rafflenbeul, Rolf: Energie- und Lufthaushalt in Verpackungsdruckbetrieben. In: Flexo+Tief-Druck, Ausgabe 5/02, Seite 12-19; Ausgabe1/03, Seite 18-25; Ausgabe 4/03, Seite 18-20.
- [3] Fa. Pall Filtersystems GmbH, Werk Schumacher Crailsheim, Zur Flügelau 70, D-74564 Crailsheim.
- [4] Mitteilung des Herrn Chamulak der Fa. CCC - Catalytic Combustion Corporation, 709 21st Avenue, USA-Bloomer, WI 54724.
- [5] Institut für Umweltschutz und Agrikulturchemie Feldbaum GmbH & Co. KG, Dr.-Ing. Thomas Möller, Bessemer Straße 34, D-42551 Velbert
- [6] Rafflenbeul, Rolf: Fortschritte in der Adsorptionstechnologie. In: Chemie Ingenieur Technik, Ausgabe 11/1996, Seite 1413-1423.