

## Projekt EnoS Abschlussbericht



# Abschlussbericht

## Energieoptimierung einer Shredderanlage mit zusätzlicher Luftfiltration

-EnoS-

**KfW Aktenzeichen:**

**MBc3-001962**

Stand: 30.12.2013

<b>Antragsteller</b>	IMR Innovative Metal Recycling GmbH Hentrichstraße 68 47809 Krefeld  Tel.: +49 (0) 2151 5241440 Fax: +49 (0) 2151 5241499
<b>Ansprechpartner</b>	<u>IMR Geschäftsführer</u> Herr Ulrich Müller Frau Simone Konjkav Herr Steffen Adam
<b>Laufzeit des Vorhabens</b>	21 Monate

## Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>3</b>
<b>Quellenverzeichnis.....</b>	<b>4</b>
<b>1. Einleitung .....</b>	<b>5</b>
1.1 Kurzbeschreibung des Projektes .....	5
1.2 Das Unternehmen .....	6
1.3 Basis, Stand der Technik* .....	6
<b>2. Umsetzung des Vorhabens.....</b>	<b>12</b>
2.1 Ziel des Vorhabens.....	12
2.1.1 Energieeinsparung durch innovatives Steuerungskonzept....	13
2.1.2 Schadstoffreduktion und der Aufbau der Anlage.....	15
2.2 Zeitlicher Ablauf.....	17
2.3 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten .....	19
<b>3. Ergebnisse .....</b>	<b>21</b>
3.1 Durchführung.....	21
3.2 Energiebilanz (der gesamten Shredderanlage).....	22
3.3 Ergebnisse Reduzierung der Umweltbelastungen .....	23
3.4 Umweltbilanz .....	36
<b>4. Empfehlungen.....</b>	<b>37</b>

## Abkürzungsverzeichnis

Altfahrzeug V	Verordnung über die Übernahme, Rücknahme und umwelt-verträgliche Entsorgung von Altfahrzeugen
BDSV	Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling-und Entsorgungsunternehmen
Comes	Maschinen-Apparatebau GmbH COMES, 54293 Trier-Ehrang
Fe-Fraktion	magnetische Schrottfraktion
Flir	FLIR Systems GmbH Frankfurt am Main
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
Hoffmann	Albert HOFFMANN GmbH Eschweiler
IMR	IMR Innovative Metal Recycling GmbH, Krefeld
kW	Leistung in Kilowatt
LYNXS	LYNXS SHREDDER PROJECT DESIGN LIMITED Chestfield, United Kingdom
MBA	Metallgemische aus mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen
Metso-Lindemann	Metso-Lindemann GmbH Düsseldorf
mg/Nm <sup>3</sup>	Maßeinheit bezogen auf Normzustand
NE-Fraktion	nicht magnetische Teile (z.B. Kupfer, Aluminium, Zink, Blei)
Optris Berlin	Optris GmbH Berlin
TÜV Essen	TÜV NORD Umweltschutz Büro Essen (zertifiziert für Messungen)
UBJT	Unternehmensberatung J. Theobald

## Quellenverzeichnis

- Abb. 1: Metso-Lindemann Anlage zum Angebot Shredderanlage  
Abb. 2: Messung Karl Kaufmann Thorishaus  
Abb. 3: Flir Messung Eschweiler  
Abb. 4: Karl Kaufmann Thörishaus  
Abb. 5: IMR  
Abb. 6: COMES Betriebshandbuch / Shredderanlagen  
Abb. 7: IMR  
Abb. 8: IMR  
Abb. 9: IMR  
Abb. 10: IMR  
Abb. 11: TÜV Essen  
Abb. 12: IMR  
Abb. 13: IMR  
Abb. 14: IMR  
Abb. 15: IMR  
Abb. 16: TÜV Essen  
Abb. 17: TÜV Essen  
Abb. 18: TÜV Essen  
Abb. 19: TÜV Essen  
Abb. 20: TÜV Essen  
Abb. 21: TÜV Essen  
Abb. 22: IMR  
Abb. 23: IMR  
Abb. 24: IMR  
Abb. 25: IMR  
Abb. 26: IMR  
Abb. 27: IMR  
Abb. 28: IMR  
Abb. 29: IMR

## 1. Einleitung

### 1.1 Kurzbeschreibung des Projektes

Das Demonstrationsprojekt „Energieoptimierung einer Shredderanlage mit zusätzlicher Luftfiltration - EnoS“ mit einer Gesamtlaufzeit von 21 Monaten wurde durch das Unternehmen IMR Innovative Metal Recycling GmbH in Krefeld in eigener Verantwortung durchgeführt. Ziel war es, durch ein innovatives Steuerungskonzept und zusätzliche Filtrationssysteme, sowohl den Energieverbrauch, als auch die Schadstoffemissionen im Metallrecycling zu reduzieren.

Das Projekt trägt entscheidend dazu bei, das Schrottreycling umweltverträglicher zu gestalten und damit einen Beitrag zur Verminderung von produktionsbedingter Umweltbelastung einerseits und der Notwendigkeit der intensivierten Recyclingtätigkeit zur Sicherung der Rohstoffversorgung von Deutschland andererseits zu leisten.

Das Projekt verfolgte zwei zentrale Ansätze, die eng miteinander verzahnt sind und in ihrer Wechselwirkung aufeinander abgestimmt wurden:

1. So wurden zum einen zusätzliche speziell angepasste Filtrationssysteme implementiert, um die gemäß TA-Luft zulässigen Grenzwerte bei den Schadstoffemissionen zu unterschreiten. Ziel war es dabei, nicht nur Emissionsspitzen in Häufigkeit und Ausmaß zu reduzieren, sondern auch die durchschnittlichen Emissionswerte zu senken.

Unternehmensinterne Vorgabe war dabei, dass diese Umwelteffekte im Rahmen der Betriebspraxis erreicht werden. Dies bedeutet insbesondere, dass keine Veränderungen in der Zusammensetzung des Aufgabematerials vorgenommen werden.

2. Zum anderen wurde ein neuartiges Steuerungskonzept mit einem umfangreichen Mess- und Regelungssystem implementiert. Ziel war es, u.a. durch eine kontinuierliche Zuführung des Aufgabematerials eine optimale Auslastung der Anlage zu erreichen und Spitzenbelastungen weitgehend zu vermeiden.

Derartige Spitzenbelastungen sind ursächlich sowohl für den hohen Energieverbrauch im Anlagenbetrieb gemessen in kW/h pro Tonne Aufgabegut als auch für Spitzen bei den Schadstoffemissionen verantwortlich.

## 1.2 Das Unternehmen

Im Zuge der Betriebserweiterung am Standort Krefeld wurde 2011 auf dem bestehenden Gelände eine Shredderanlage mit einer Verarbeitungskapazität von ca. 100.000 t Metallschrott geplant. Diese Anlage ist im Zuge des Demonstrationsobjekts gemäß den skizzierten Zielsetzungen umgerüstet worden, um so einen entscheidenden Beitrag zur grundsätzlichen Verringerung der Umweltbelastung bei der Verwertung von Altmetallen zu leisten.

Das Unternehmen IMR hat im Bewusstsein der besonderen Umweltsensibilität der Recyclingindustrie dieses Projekt in eigener Verantwortung und ohne gesetzliche oder behördliche Auflagen am Standort Krefeld durchgeführt.

### *Beauftragte Unternehmen:*

- Comes Maschinenfabrik Ehrang  
(Planung und Lieferung der Anlagenteile)
- TÜV Essen (begleitende Messungen)
- Optris Berlin (Wärmebild Auswertung)
- Unternehmensberatung J.Theobald  
(technische Überwachung, Datenauswertung, Modifizierungen)

## 1.3 Basis, Stand der Technik\*

Das Ausmaß an Schadstoffemissionen und der notwendig einzusetzende Energieverbrauch sind nicht nur von Kapazität und Technologie der Shredderanlage selbst abhängig, sondern werden bereits durch Art und Zusammensetzung des Aufgabematerials beeinflusst.

Das angelieferte Material besteht in der Regel aus:

- Autowracks aus Verwertungsbetrieben,
- Industrie- und Sammelschrott,
- Haushaltsgroßgeräten,
- Dosenschrott sowie
- Metallgemischen (Fe und NE) und Metallverbundmaterialien

Diese Materialien fallen in unterschiedlicher Zusammensetzung an und werden einer Vorbehandlung unterzogen, bei der unter anderem Batterien, Öle und andere Gefahrenstoffe ausgesondert werden.

\*Auswertung der Anlagenangebote der Firmen: Metso-Lindemann, COMES, Hoffmann, LYNXS, BVT vom BDSV und eigene Erfahrungen

Gleichzeitig wird das Material so zusammengestellt, dass es als Aufgabematerial für den Shredder einen optimalen Anlagendurchsatz erlaubt. Aussortiert werden alle nicht-shredderfähigen Materialien, die zu einem hohen Verschleiß oder gar Beschädigungen an der Anlage führen könnten. Dazu zählen beispielsweise große und dicke Metallteile sowie Barren, Knüppel und ähnliche Massivmaterialien.

Der zugeführte Schrott muss zudem frei von explosiven, feuergefährlichen und giftigen Flüssigkeiten, Gasen und Stäuben sein. Auch unter diesem Aspekt erfolgt im Rahmen der Vorbehandlung eine intensive Kontrolle, da trotz gesetzlicher Verpflichtungen (Altfahrzeug V) in den angelieferten Materialien immer wieder Störstoffe wie teilentleerte Tanks, Batterien, Gasbehälter, Kraftstoffe, Öle, Kühlgeräte und ähnliches enthalten sind.

Derartige Materialien gefährden die Anlagensicherheit und führen zu erheblichen Schadstoffbelastungen. Durch die teilweise sehr hohen Temperaturen beim Zerkleinerungsprozess (punktuell 250°C) kann es je nach Stoff zur Verpuffung oder Vergasung mit einer erheblichen Belastung der Umwelt kommen. Vor diesem Hintergrund sind alle Shredderanlagen für Explosionsbelastungen bis zu 2,5 bar ausgelegt. Zudem sorgen mehrere Druckentlastungsflächen innerhalb der Anlage im Ernstfall für einen Druckabbau.

Shredderanlagen sind in Deutschland seit Ende der 60er Jahre in Betrieb. Sie sind Anlagen zur Schrottzerkleinerung und arbeiten alle nach demselben, energieintensiven Grundprinzip: Verhältnismäßig starke Elektromotoren treiben eine Hammermühle an. Wird ein Objekt in den Shredder gegeben, wird dieses durch Zerreißen, Zertrümmern, Verformen und Verdichten in kleine Bestandteile zerlegt.

Das Aufgabematerial wird über ein Transportband dem Shredder zugeführt, durch zwei Treibrollen gepresst und mit konstanter Geschwindigkeit in den Rotorraum zur Zerkleinerung gegeben. Unabhängig von der Ausgestaltung (geschlossene Böden oder Bodenroste) werden zur Zerkleinerung des Aufgabematerials Rotormühlen eingesetzt. Sie bestehen aus einem Rotor mit mehreren schweren Hämmern. Mit einer Antriebsleistung bis zu 7.000 kW bei bis zu 600 Umdrehungen pro Minute treten die eingehängten Hämmer durch die Fliehkraft hervor.

Das Aufgabematerial wird in den Schlagkreis der Hämmer geschoben und dort über eine Ambosskante abgerissen. Ausreichend zerkleinertes Material wird über Gitterroste ausgeschleudert (Zentrifugalkraft), ansonsten gelangt es zurück in den Schlagkreis und wird weiter zerkleinert.

Dieser Prozess wird solange weitergeführt, bis das zerkleinerte Material den Rost passiert hat und über nachgeschaltete Förderanlagen der Separierung zugeführt werden kann. Das anfallende Produktionsgut wird in der Separationsanlage (Magnete und Windsichtung) gereinigt und in Fe-Metalle, NE-Metalle und Leichtfraktion aufgeteilt. Danach werden NE-Metalle und andere Inhaltsstoffe über NE-Scheider und Schwimm-Sink-Anlagen nach Rohstoffsorten getrennt.

Am Rotorraum angeschlossen ist eine Entstaubungsanlage, die den Staubaustritt aus dem Zerkleinerer verhindert und das zerkleinerte Material bereits zu einem Teil von flugfähigen Verunreinigungen befreit. Die weitere Reinigung von flugfähigem Material erfolgt im Windsichterkreislauf. Der Luftstrom mit dem mitgeführten flugfähigen Leichtgut aus Rotorraum und Windsichter wird über zwei Zyklonabscheider gereinigt und über Zellenradschleusen ausgetragen (Shredderleichtfraktion).

Die Luftströme werden im Bereich Venturikehle zusammengeführt und nicht abgeschiedene Partikel wie Staub über einen Nasswäscher (Venturi-Wäscher mit nachgeschaltetem Schlammbehalter) geführt, der auch diese Feinpartikel aus der Luft wäscht, bevor die gereinigte Abluft über einen Kamin die Anlage verlässt. Die nachfolgende Abbildung 1 zeigt den schematischen Grundaufbau einer solchen Entstaubungsanlage.

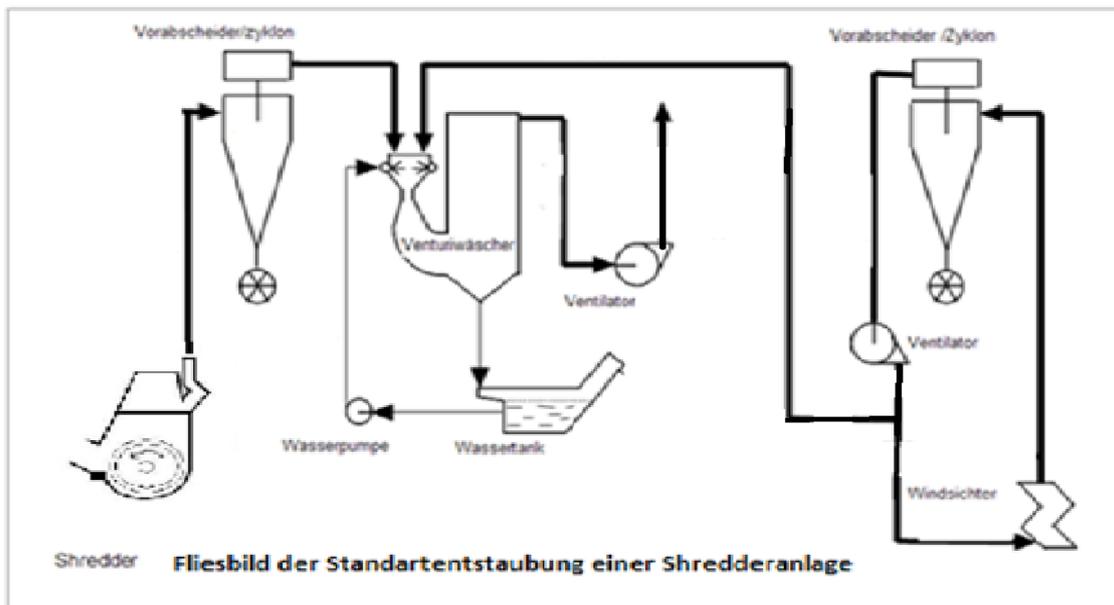


Abbildung 1 Quelle: Metso- Lindemann Anhang zum Angebot Shredderanlage

Shredderanlagen wurden und werden im Hinblick auf ihre Spitzenbelastung dimensioniert und motorisiert. Dies gilt sowohl für den Shredder, als Herzstück der Anlage, als auch für alle notwendigen Nebenaggregate, angefangen von den Transportbändern zur Zuführung des Aufgabematerials und dem internen Weitertransport des Zerkleinerungsgutes, bis hin zu den Filtrationsanlagen zur Luftreinigung. Die für einen höheren Durchsatz erforderlichen Leistungen werden allein durch höhere Motorleistungen erzielt, wodurch ein höherer Energiebedarf

besteht. Anlagenoptimierung oder konstruktive Verbesserungen zugunsten von Energieeinsparungen spielten bis dato marktseitig keine Rolle.

Der Arbeitsschritt der Zerkleinerung weist dabei den größten Energiebedarf auf. Wie bereits erläutert, wird unabhängig von der Ausgestaltung der Shredderanlage der Metallschrott über Bagger und Transportband aufgegeben und über Treibrollen dem Shredder zugeführt.

Dabei erfolgt die Zuführung des Aufgabegutes je nach Belastung (Stromaufnahme des Hauptmotors), so dass je nach Art des Vormaterials unterschiedliche Mengen in den Shredder gelangen und der Antrieb stark wechselnd beansprucht wird. Dies gilt grundsätzlich auch unter Berücksichtigung einer optimalen Vorsortierung des Aufgabematerials.

Bei geringen Durchsatzmengen läuft der Motor unterhalb seiner energieoptimalen Belastung, bei besonders hohen Mengen oder großen Metallteilen entstehen Spitzenbelastungen bis zum 1,8-fachen des Motornennstroms, obwohl bereits bei Erreichen des Motornennstroms ein Steuersignal die Zuführung blockiert.

Erst nach einem Abfall der Stromaufnahme auf ca. 70 % des Nennstroms wird die Zuführung wieder freigegeben, so dass erneut manuell zugeführt werden kann.

Die Anlagenführung erfolgt gegenwärtig durch einen Maschinenführer, der u.a. die Materialzuführung überwacht und steuert. Damit kann lediglich im geringen Maße ein Ausgleich bei der Zuführung erreicht werden; eine weitere Restriktion stellen die Zuführrollen dar, die nur über eine Ein-/Aus-Schaltung verfügen. Auch die Transportbänder selbst laufen nur mit einer einheitlichen Geschwindigkeit. Diese konstruktionsbedingt vorgegebene, diskontinuierliche Betriebsweise führt zu einer Intervallbelastung der Anlage, die ihren Wirkungsgrad auf maximal 60% - 70% beschränkt. Der permanente Wechsel der Stromaufnahme des Hauptaggregates führt zu einem sehr hohen Energieverbrauch.

Der aktuelle Verbrauch einer Anlage der in Krefeld vorgesehenen Größenordnung liegt bei 44 kWh pro Tonne Aufgabegut (70% Fe im Vormaterial, Dichte 1 t / m<sup>3</sup> des Produktionsgutes).

Die folgende Abbildung 2 zeigt die Motorbelastung einer Standard-Shredderanlage im diskontinuierlichen Betrieb.



Abbildung 2: Motorbelastung bei diskontinuierlichem Betrieb

Abbildung 2

Quelle: Messung Karl Kaufmann Thorishaus

Da der Hauptmotor durch eine Flüssigkeitskupplung gegen Überlastung geschützt wird, beginnt bereits bei 1,3-facher Motorbelastung die Drehzahl des Rotors zu fallen. Der Kuppelungsschlupf wird in Wärme umgesetzt, was wiederum einen großzügig ausgelegten Kühlkreislauf mit entsprechendem Energiebedarf erfordert. Erfahrungsgemäß muss der Kühlkreislauf mit 1 – 2% der installierten Leistung des Hauptmotors ausgelegt werden.

Zusätzlich zum generell hohen Energieverbrauch führen die hohen Lastspitzen zu verstärktem Verschleiß im Shredder, erhöhten Temperaturen in der Anlage und damit einem größeren Schadstoffanfall (Vergasungspunkt der Kraftstoffe). Dies erfordert einen erhöhten Energiebedarf bei der Luftreinigung. Die nachfolgende Abbildung 3 zeigt einen typischen Temperaturverlauf bezogen auf das Produktionsgut derzeitiger Shredderanlagen.



Abbildung 3: Temperatur des Produktionsgutes *Quelle: Flir Messung Eschweiler*

Durch die starken Schwankungen in der Produktionsmenge müssen die für einen reibungslosen Betrieb kritischen Nebenanlagen wie Entstaubungsanlage, Transport- und Separationssystem zu 100% überdimensioniert werden, mit einem vergleichsweise hohen Energieaufwand, der für die Entstaubung und Nebaggregate bei derzeit ca. 15 kWh pro Tonne Aufgabegut liegt.

Aus Kostengründen kommt in der Regel eine kombinierte Umluftanlage oder eine Entstaubungsanlage mit verhältnismäßig geringem Absaugvolumen am Shredder zum Einsatz. Nachteil dieser Anlagen ist ein auf die Minimalmenge begrenztes Absaugvolumen am Shredder (schlechte Durchlüftung) sowie - bedingt durch Druckverschiebungen - stark schwankende Absaugmengen am Shredder und im Bereich der Schrottreinigung.

Diese Faktoren führen ihrerseits zu erheblicher Staubbelastung im Anlagenbereich (diffuser Staubanfall an den Übergabestellen).

Eine gleichmäßige Absaugung der beim Shreddern entstehenden Stäube ist somit nicht gegeben. Eine Alternative zu diesen Systemen ist die Eindüsung von Wasser in den Shredder, hierbei kommt es jedoch zu starkem Dampfaustritt (mit darin enthaltenen Schadstoffen) aus der Maschine.

Vor diesem Hintergrund halten die marktseitig verfügbaren Anlagen zwar die Grenzwerte der TA Luft in der Fassung von 2002 ein, die für eine Reihe von typischen Emissionen für die Recycling-Branche Übergangsfristen bis zum Jahr 2007 vorsah. Bezogen auf den Gesamt-C-Gehalt gibt es aber bei diesen Anlagen erhebliche Probleme die Vorgaben der TA Luft einzuhalten, da immer

wieder Belastungsspitzen auftreten (vgl. Abbildung 4). Vielfach ist bei den z.Zt. in Betrieb befindlichen Anlagen auch ein Überschreiten der zulässigen Emissions-Grenzwerte bei Spitzenbelastungen zu beobachten.

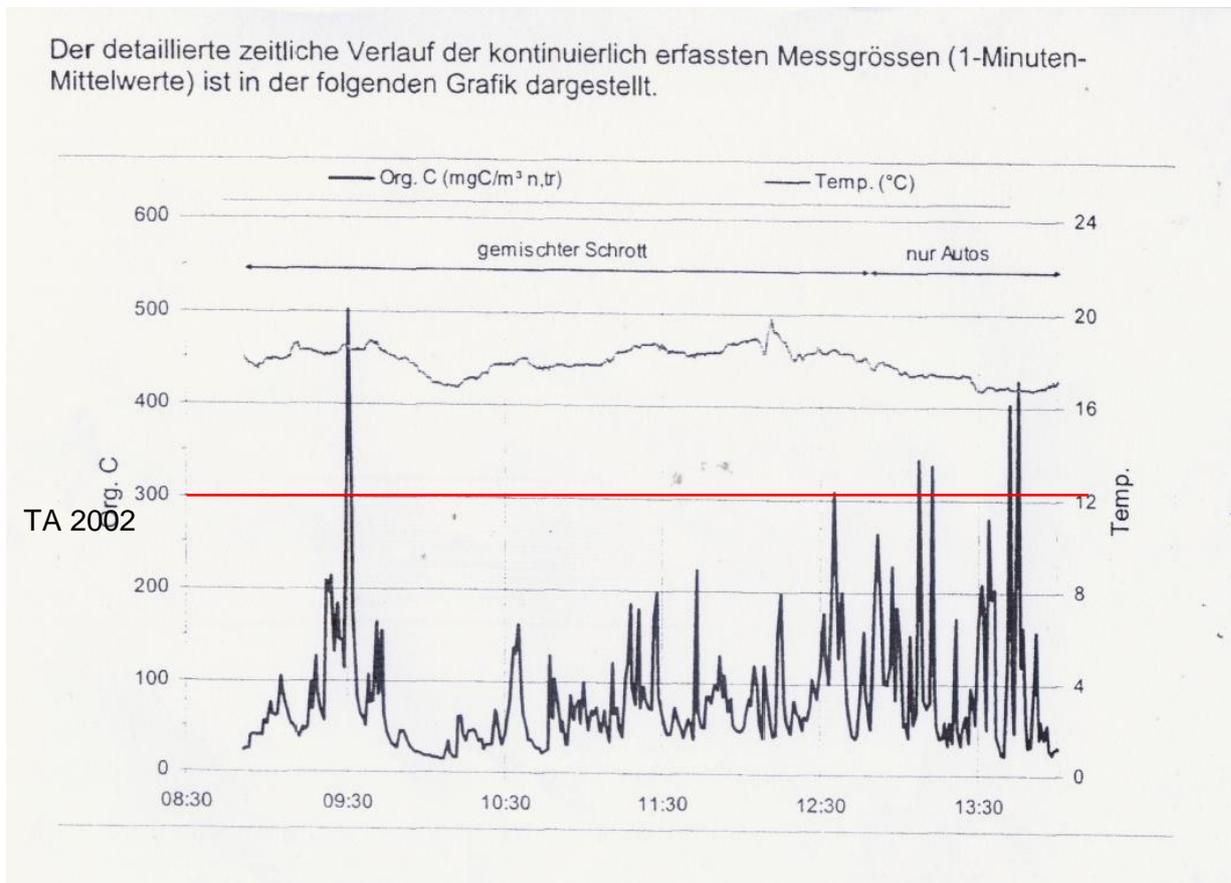


Abbildung 4: Messwerte Gesamt-C mit Grenzwert der TA-Luft 50 mg/m<sup>3</sup>

Quelle: Messung Firma Karl Kaufmann Thörishaus

## 2. Umsetzung des Vorhabens

### 2.1 Ziel des Vorhabens

An dieser geschilderten Problematik der Schadstoffemissionen und hohen Energieverbräuche setzt das hier vorgestellte Demonstrationsprojekt an.

In seinem Rahmen soll erstens durch ein intelligentes Steuerungssystem die Anlagenauslastung verstetigt und Spitzenbelastungen weitgehend vermieden werden. Damit verbunden ist nicht nur eine direkte Energieeinsparung im laufenden Betrieb, sondern auch die Möglichkeit für künftige Anlagen, die notwendige Motorisierung des Antriebs kleiner zu dimensionieren. Aufgrund der dargestellten

Funktionszusammenhänge zwischen Spitzenlast, Temperaturentwicklung und Schadstoffemissionen soll zugleich eine Verminderung der Emissionen erzielt werden. Dies erlaubt wiederum eine verkleinerte Auslegung der Nebenaggregate mit entsprechenden zusätzlichen Energieeinsparungen.

Unabhängig von einem solchen Erfolg war jedoch erklärte zweite Zielsetzung des Projektes die unmittelbare Reduktion der Emissionen, um relevante Grenzwerte der TA Luft deutlich zu unterschreiten.

Angesichts des hohen Energieverbrauchs von Haupt- und Nebenaggregaten sowie der vergleichsweise hohen Schadstoffemissionen bei marktüblichen Anlagen beabsichtigte das Projekt „EnoS“ eine innovative Weiterentwicklung der bestehenden Shredder-Technologie. Konstruktion, Installation und Test einer umgerüsteten Groß-Shredderanlage.

Ziel des vorgestellten Projekts mit einer Laufzeit von 21 Monaten war eine technisch stabile und wirtschaftlich tragfähige Emissions- und Energie-minderung im Dauerbetrieb zu erreichen. Auf diese Weise können bei einem Projekterfolg Emissionsminderungen schadstoffabhängig von 50% und eine Reduzierung des Gesamtenergieverbrauchs der Anlage um bis zu 20% erzielt werden.

Damit gehörten zu den zentralen Zielsetzungen des Demonstrationsvorhabens u.a.:

- Umrüstung des Shredders für einen kontinuierlichen Betrieb
- stabile Integration einer Steuerungssoftware in den Produktionsprozess
- effiziente Steuerung der Zuführung des Aufgabematerials basierend auf notwendigen Messdaten
- effiziente Einbindung zusätzlicher Emissionsminderungsmaßnahmen
- ausreichend große Reduzierung der Schadstoffe aus dem Luftstrom
- ausreichende Robustheit des Systems zum Einsatz im Dauerbetrieb
- Wartungsfreundlichkeit und Verschleißarmut durch ausreichend lange Wartungsintervalle

### **2.1.1 Energieeinsparung durch innovatives Steuerungskonzept**

Zentraler Ansatzpunkt im Rahmen der angestrebten Energieeinsparung war eine gleichmäßige Zuführung des (vorsortierten) Aufgabematerials in den Shredder, um Belastungsspitzen und Leerlaufzeiten gleichermaßen zu reduzieren. Kernansatz ist damit der Wandel des bisher diskontinuierlichen Betriebskonzepts hin zu einer kontinuierlichen Arbeitsweise. Gelingt dies, kann durch eine verstetigte Stromaufnahme des Hauptaggregats der Wirkungsgrad der Anlage gesteigert und damit der Energieverbrauch pro Tonne Aufgabegut um bis zu 20% verringert werden.

Um den Anforderungen einer solchen kontinuierlichen Betriebsweise gerecht zu werden, war - neben konstruktionsseitigen Umbauten - eine grundlegende Abkehr vom derzeitigen Steuerungs- und Zuführungsprinzip notwendig:

Die Steuerung der Zuführrollen und damit des Materialzuflusses erfolgt über eine neue Software, die auf systemspezifische Messsignale aus der gesamten Anlage zurückgreift. Um dies leisten zu können, wurde ein geeignetes und zuverlässiges Equipment an passenden Messpunkten installiert und an einen zentralen Rechner angeschlossen, eine intelligente Steuerungssoftware wertet laufend die eingehenden Messdaten aus und setzt die Signale zur zeitnahen Anlagensteuerung ein.

Hierzu werden zentrale Systemdaten wie bspw. die aktuelle Stromaufnahme des Motors, die Rotordrehzahl, die Geschwindigkeit des Zuführbandes und die Temperatur des Produktionsgutes kontinuierlich erfasst und systematisch ausgewertet.

Werden vordefinierte Schwellenwerte überschritten, werden spezifische und aufeinander abgestimmte Steuermaßnahmen ausgelöst, um den Betriebszustand in gewünschten Bandbreiten zu halten. So wird bspw. bei ansteigenden Temperaturen des Produktionsgutes die Motorleistung gedrosselt und die Geschwindigkeit des Zuführbandes verringert. Gleichzeitig wird eine Wasserlufterdüsung in Gang gesetzt, um die Temperaturen so rasch und gezielt wie möglich zu senken.

Auf diese Weise wird auch ein zusätzlicher Schutz vor Verpuffungen innerhalb der Anlage erreicht.

### Einflussgrößen zur Reduzierung des Stromverbrauchs bei Shredderanlagen

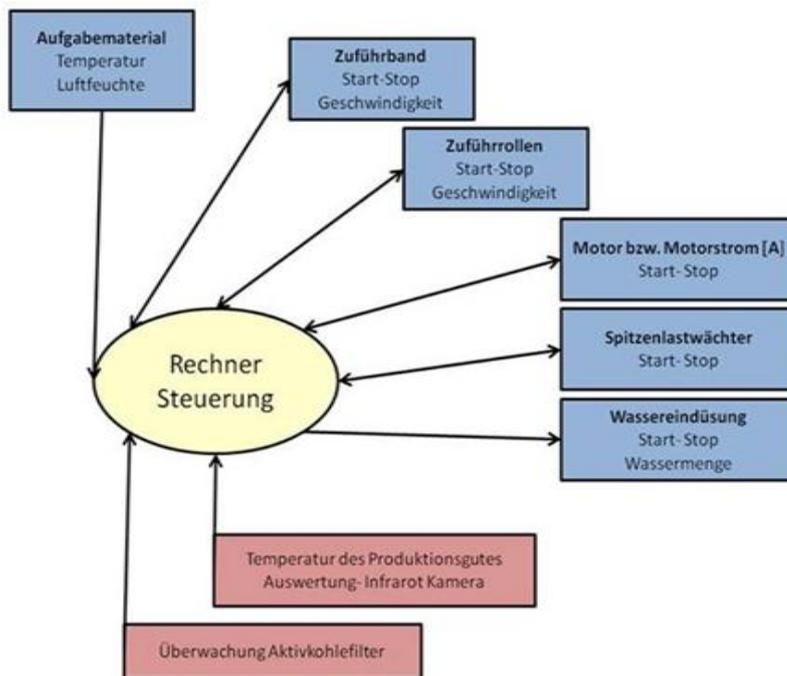


Abbildung 5: Regelgrößen im kontinuierlichen Betrieb

Quelle: IMR

### 2.1.2 Schadstoffreduktion und der Aufbau der Anlage

Nebeneffekt des erfolgreich umgesetzten neuen Steuerungskonzepts ist bereits eine erste Verringerung der Schadstoffemissionen in die Luft im Dauerbetrieb.

Unabhängig von diesem Erfolg war jedoch erklärte zweite Zielsetzung des Projektes die unmittelbare Reduktion der Emissionen, um die zurzeit bei den Shredderanlagen gemessenen gesamt C Werte und die Grenzwerte der TA Luft deutlich zu unterschreiten.

Die deutliche Verbesserung der Emissionssituation wurde über die Installation von zusätzlichen Minderungstechniken erreicht. Es kam eine Kombination von Hochdruckventuri-Anlage mit Aktivkohlefilter und separater Umluft-Anlage mit Schlauchfilter zum Einsatz.

Die zusätzliche Reinigungsleistung wird über zwei unabhängige Stufen erreicht. In der ersten Stufe wurde für die Entstaubung des Shredders eine Hochdruckventurianlage mit nachgeschaltetem Aktivkohlefilter integriert, wie in Abbildung 6 schematisch dargestellt.

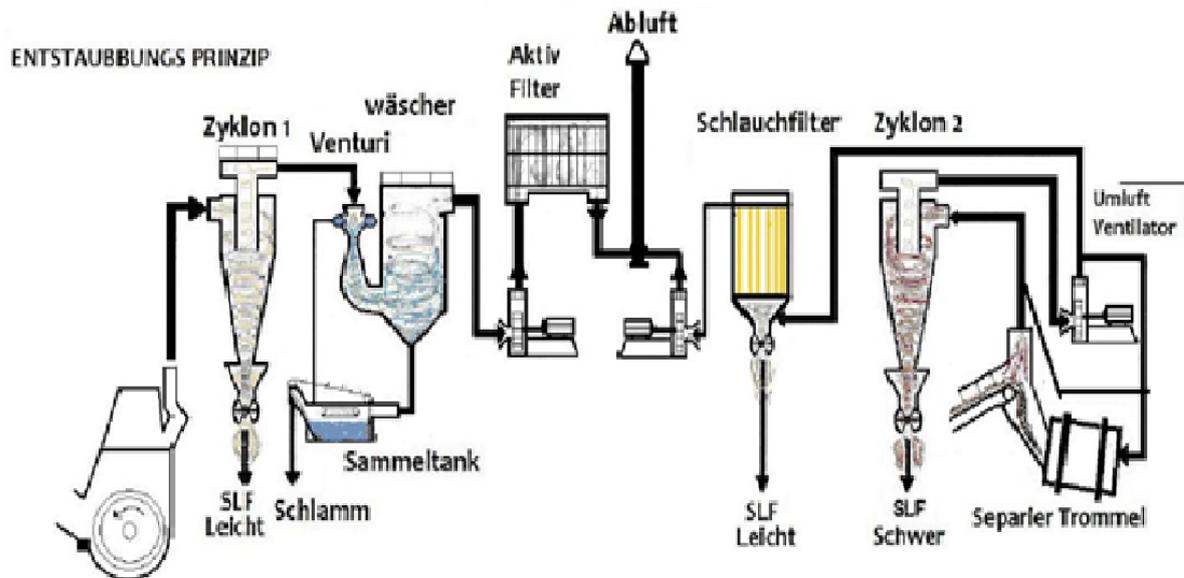


Abbildung 6: Fließbild der Entstaubung Quelle: COMES Betriebshandbuch

Der im üblichen Verfahren vorgereinigte Abluftstrom aus dem Nasswäscher wird aufgrund der hohen Beladung mit C (bis zu  $500\text{mg/m}^3$ ) zur sicheren Reduzierung des C-Gehalts über einen speziell konstruierten Aktivkohlefilter geführt. Hierdurch können alle noch im Luftstrom mitgeführten Schadstoffe weitgehend gebunden werden. Durch die im Nasswäscher aufgenommene Feuchtigkeit ist die mit der Aktivkohle verbundene Brandgefahr zu vernachlässigen. Zudem wird ein Aktivkohlekoks mit reduzierter Brandgefahr eingesetzt.

Druckenergie aus ggf. doch auftretenden Verpuffungen im System wird über vorgeschaltete Druckentlastungsflächen abgeführt.

In der zweiten Stufe wurde die für die Reinigung bestehende Umluftanlage (Separier-Trommel, Vorabscheider, Ventilator) mit einem Schlauchfilter ausgestattet.

Durch eine Kopplung der Filtersysteme der Gesamtanlage (Reduzierung der Druckverluste) und ihre passgenaue Dimensionierung für den verstetigten Materialdurchfluss wird der Energiemehrverbrauch in engen Grenzen gehalten.

Um die Verpuffungs- und Brandgefahr im Rahmen der zusätzlichen Filtrationsanlagen zu entschärfen, wurde eine Reihe von Sicherheitsmaßnahmen implementiert. So sind beide Entstaubungsanlagen räumlich und technisch voneinander getrennt. Hierdurch wird eine gegenseitige Beeinflussung ausgeschlossen und sichergestellt, dass keine Stoffe in den Reinigungsbereich (Umluft Anlage und Schlauchfilter) gelangen, die Verpuffungen verursachen können.

Der gesamte explosionsgefährdete Bereich der Entstaubungsanlage ist grundsätzlich mit Druckentlastungsflächen und Fanggittern ausgerüstet (Rohrleitungen, Vorabscheider, Wäscher, Ventilator und Aktivkohlefilter). Der Aktivkohlefilter ist zusätzlich mit einer Temperaturüberwachung und eine automatische Löschanlage ausgestattet.

Die Umrüstung der Anlage zu einer kontinuierlich betriebenen Shredderanlage, stellt eine grundlegende Neuerung in der Betriebsweise von Shredderanlagen dar.

Die innovative Leistung des Projekts liegt, neben der erstmaligen Kombination von Hochdruckventuri-Anlage mit Aktivkohlefilter und separater Umluftanlage mit Schlauchfilter in einer solchen Anlage, vor allem in einem neuartigen Regelungs- und Steuerungssystem. Beide Ansatzpunkte wurden erstmalig umgesetzt und erforderten besondere Anstrengungen zur Lösung der damit verbundenen Anlagen und prozessbezogenen Herausforderungen.

Innerhalb der Demonstrationsphase sollte neben der faktischen Überprüfung der Leistungsfähigkeit vor allem die Anlagensteuerung so abgestimmt werden, dass sowohl die Umweltschutzwirkung durch Emissionsminderung, als auch die angestrebten Energieeinsparungen maximiert, erreicht werden.

Die zentralen Neuerungen - hier nochmals im Überblick zusammengestellt - zu ihnen gehören u.a.:

- Implementation einer Steuerungssoftware für einen kontinuierliche Anlagenbetrieb
- Integration eines Messsystems zur Anlagenüberwachung
- Umrüstung und Ertüchtigung einer marktüblichen Shredderanlage für das neue Betriebskonzept (regelbares Zuführband, regelbare Treibrollen, regelbare Bandgeschwindigkeiten, spezielles Hydraulikaggregat, regelbares Luftsystem)
- Einbau eines Aktivkohlefilters und Einbindung in die Anlagensteuerung
- Integration einer Wärmebildkamera zur Erfassung und Steuerung der Temperatur des Produktionsgutes
- Installation eines regelbaren Kühlsystems (Luft-Wasser)

## 2.2 Zeitlicher Ablauf

Die Umsetzung des Demonstrationsprojektes der IMR Innovative Metal Recycling GmbH war für den Zeitraum vom 01.04.2012 bis 31.12.2013 geplant und umfasste die folgend skizzierten Arbeitspakete:

- A.0 Technisches Projektmanagement (begleitend)  
Während der gesamten Projektlaufzeit wurden Personalkapazitäten für das laufende Projektmanagement bereitgestellt.
- A.1 Planung und Basic Engineering (2 Monate)  
Hier wurden u.a. die Anlagenpläne und Zeichnungen erstellt, die notwendigen Anlagenspezifikationen festgelegt sowie im Kick-off-Meeting die Grundlagen für das Projektmanagement erstellt.
- A.2 Begleitendes Engineering und Konstruktion einschließlich Beschaffung (4 Monate)  
In dieser Phase wurden die Anlagenspezifikationen geprüft und angepasst, die Anforderungen an die Lieferanten konkretisiert und die Auftragsvergabe durchgeführt. Dies betrifft insbesondere Anlagenbestandteile wie die Filtersysteme mit ihren Aktivkohlespezifikationen, Hydraulik und Zuführsysteme. Weiterer Schwerpunkt der Arbeiten lag in einem späteren Arbeitsschritt beim Hauptzulieferer. In dieser Phase hat IMR unterstützende und kontrollierende Arbeiten ausgeführt sowie laufend die Anlagen-spezifikationen geprüft.
- A.3 Programmierung (3 Monate)  
Schwerpunkt lag auf der Programmierung der Steuerungssoftware und der Optimierung für die Anlagenführung und ihrer Abstimmung auf die unterschiedlichen Inputdaten, um eine optimale Energieeinsparung bei gleichzeitig angestrebter Luftreinhaltung zu erreichen, einschließlich der Durchführung entsprechender offline-Simulationen.
- A.4 Bau- und Umbaumaßnahmen der Shredderanlage vor Ort (4 Monate)  
Für die Aufstellung und Einbindung der zusätzlichen innovativen Anlagenkomponenten wurden entsprechende vorbereitende Baumaßnahmen geplant und durchgeführt. Dazu gehörten bspw. das Legen eines verlängerten Fundamentes, der Verrohrung und der Elektrik. Darüber hinaus wurden an der Grundanlage mehrere Umbauten wie bspw. im Bereich der Hydraulik und Materialzuführung vorgenommen.
- A.5 Montage und Einbindung der Zusatzkomponenten (1 Monat)  
Die zusätzlichen Komponenten wurden in die Anlage integriert und eingebunden, die Softwaresteuerung implementiert und in die bestehende Produktionsanlage eingebunden. (Ausgangspunkt war eine Standard-Shredderanlage)
- A.6 Test, Nullstart und erste Testläufe (1 Monat)  
Die umgerüstete Anlage wurde sukzessive angefahren und auf Funktionsfähigkeit und fehlerfreie Installation getestet, (Durchsatzmengen und Aufgabematerialien variiert.) Unter anderem wurden in diesem Arbeitspaket Aspekte wie Temperatur, Motordrehzahl, Reaktionsverhalten der Zufuhr auf Steuersignale Luftströmung und Schadstoffabsorption gemessen.
- A.7 Evaluation und Feinabstimmung (1 Monat)

Diese Phase umfasste die Evaluation der Messergebnisse aus dem vorangegangenen Arbeitsschritt und die Festlegung und Durchführung von Korrekturmaßnahmen.

#### A.8 Demonstrationsphase mit kontinuierlichem Monitoring (8 Monate)

Die Anlage wurde einer Dauerbelastung unterzogen, um unter anderem Stabilität, Betriebssicherheit, Stör- und Wartungsanfälligkeit und den Verlauf der Motordrehzahl und Energieverbräuche sowie der Schadstoffemissionen zu testen.

Während dieser Phase wurden auch mehrfach Messungen durch einen zertifizierten Sachverständigen durchgeführt und ausgewertet.

Zugleich wurden die Mitarbeiter im Umgang mit der Steuerung geschult.

#### A.9 Übergabe in den Regelbetrieb und Dokumentation (1 Monat)

### 2.3 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Seit November 2012 wurden die Daten der Anlage bezogen auf:

- Betriebszeit
- Belastung
- Energieverbrauch Mittelspannung
- Energieverbrauch Niederspannung
- Produkt Fe
- Schwerfraktion
- Leichtfraktion
- Aufgabemenge
- Durchsatz t/h
- Belastung Hauptmotor und Drehzahl Rotor

erfasst und ausgewertet.

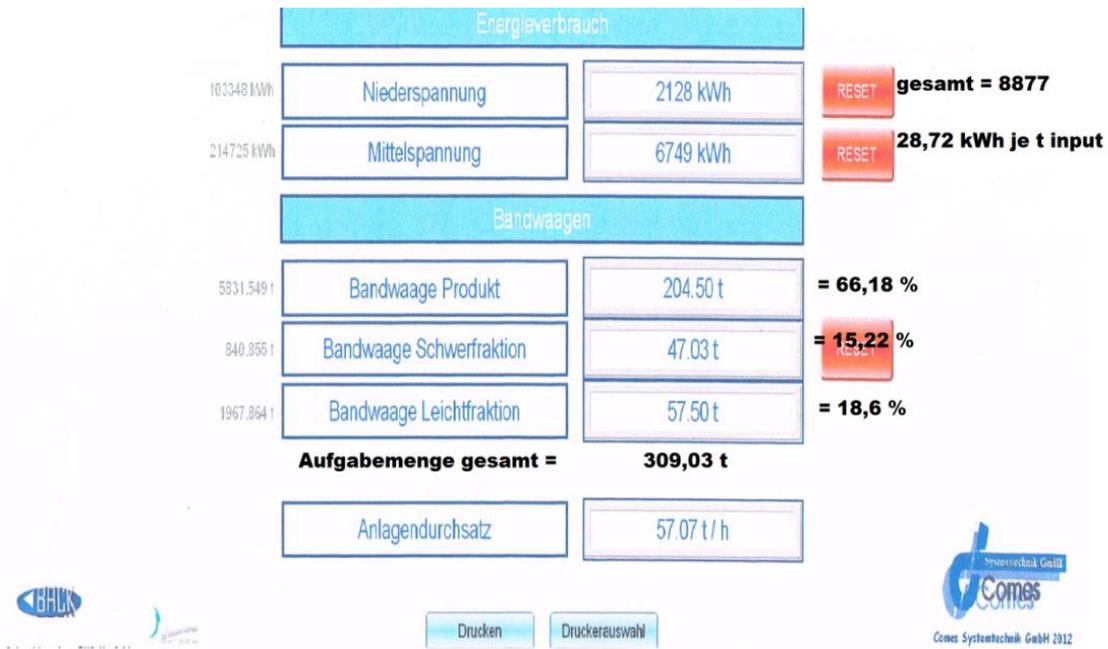


Abbildung 7: Kopie Tagesreport

Quelle: IMR

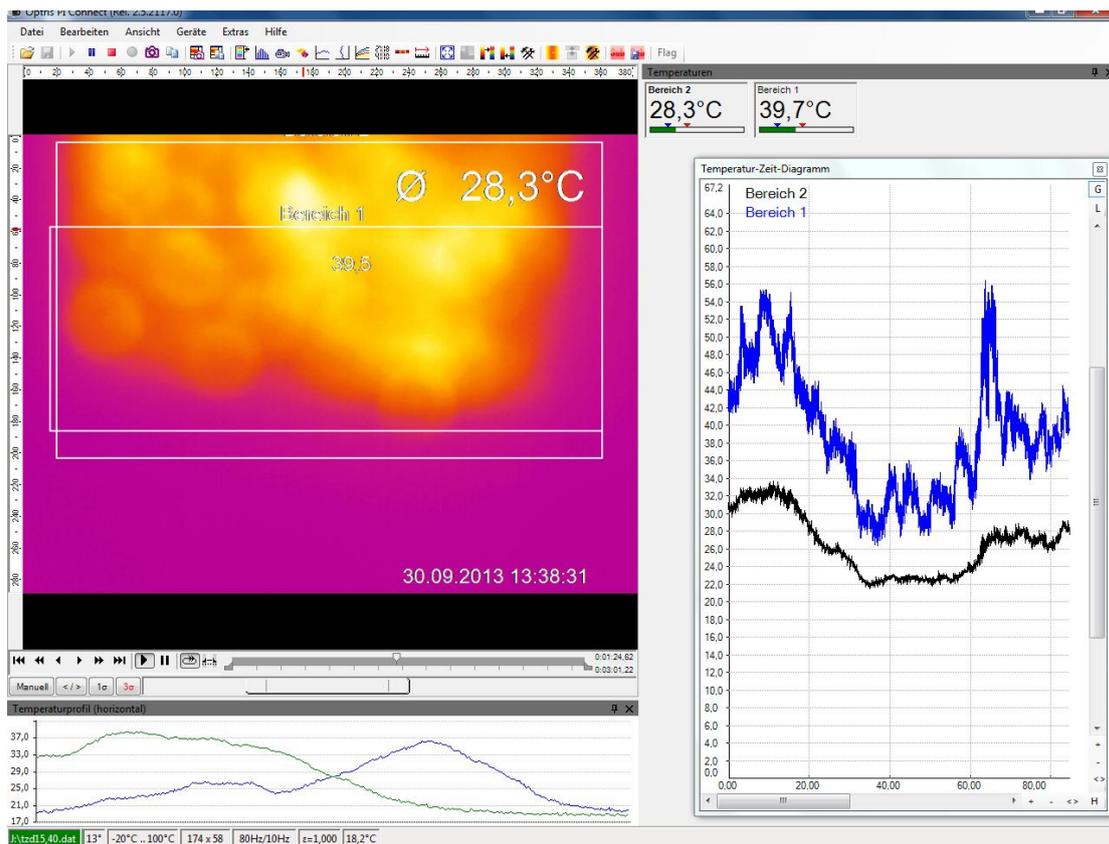


Abbildung 8: Kopie Temperatúrauswertung

Quelle: IMR

## 3. Ergebnisse

### 3.1 Durchführung

Das shredderfähige Material, das am Standort Krefeld verarbeitet werden sollte, kann wie folgt spezifiziert werden:

- 70% komplette, entsorgte Alautos mit oder ohne Motoren,
- 30% Pakete aus entsorgten Karosserien, inkl. Motor, Getriebe, Achsen und Federn,
- oder leichtem Mischschrott, max. Pakethöhe 600 mm, max. Dichte: 0,8 bis 1,0 t / m<sup>3</sup> bei 600 x 600 mm Paketquerschnitt , je nach Paketabmessung und Zusammensetzung
- Weiße Ware / Haushaltsgeräte, z.B. Waschmaschinen, Herde, entsorgte Kühlschränke etc. (Blechteile ohne FCKW)
- Sortierter leichter Sammelschrott, max. Blechdicke: 4 mm
- Aussortierte Metallgemische aus Sortier- und Müllverbrennungsanlagen
- **Fe-Anteil im Vormaterial mindestens 70-72 %**

Erste Auswertungen zeigten, dass das am Markt verfügbare Vormaterial stark von dem seinerzeit geplanten Vormaterial, was die Zusammensetzung und Menge betrifft, abwich.

Der Anteil an Autokarosserien fiel auf ca.30 %, der Anteil an Mischmetall stieg auf 45 %. Zur Auslastung der Anlage wurden 25% MBA verarbeitet. Der Fe-Anteil reduzierte sich auf 62%.

Durch diese Umstände musste mehr Zerkleinerungsarbeit geleistet werden, um eine Dichte des Shredderschrottes von 1 t / m<sup>3</sup> sicherzustellen. (Zusätzlich war ein Anpassen der Rostöffnungen erforderlich.)

Die Ermittlung von verwertbaren Betriebsdaten und deren Einbindung in die Steuerung gestaltete sich auf Grund der sehr unterschiedlichen Zusammen-setzungen des Vormaterials äußerst schwierig.

Die Festlegung der optimalen Einstellungen der Steuerung je nach Material-zusammensetzung des Aufgabegutes und den Wetterbedingungen zum günstigsten Betriebspunkt der Anlage, unter der Berücksichtigung sauberes Produkt, Dichte, Trennschärfe der unterschiedlichen Materialien, geringe Materialverluste, hohe Durchsatzleistung, optimaler Energieverbrauch erforderte umfangreiche Testläufe und Schulung des Betriebspersonals.

Detailangaben hierzu sind nicht möglich, da die Zusammensetzung des Vormaterials ständig wechselt.

### 3.2 Energiebilanz (der gesamten Shredderanlage)

Die Auswertung der Monatsdaten zeigt die Reduzierung des Energieverbrauchs.

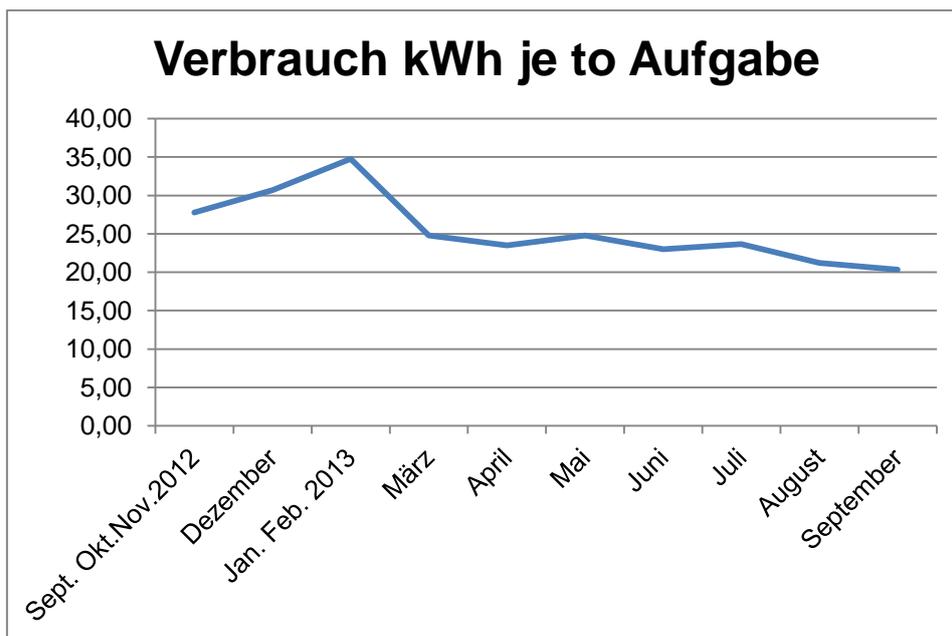
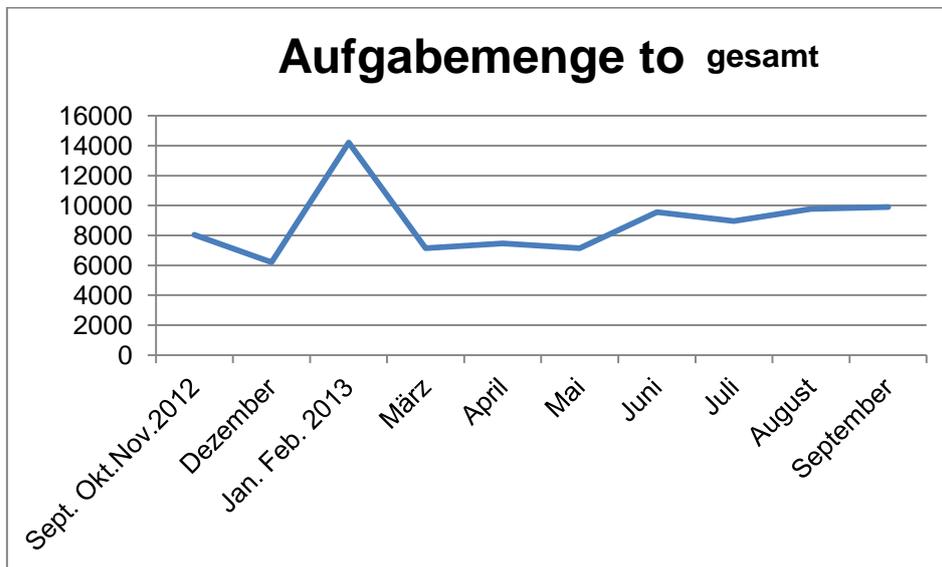


Abbildung 9: Anlagendurchsatz und Energieverbrauch

Quelle: IMR

Nach der Modifizierung der Anlage im März 2013 lief die Anlage bezogen auf den Energieverbrauch kWh/h je t Aufgabegut erfolgreich.

Das Ziel: „Reduzierung des Energieverbrauchs je t von 20 %“ wurde erreicht.

### 3.3 Ergebnisse Reduzierung der Umweltbelastungen

Der Aktivkohlefilter wurde im März 2013 in Betrieb genommen.



Abbildung10: AK Filter mit Temperaturüberwachung und Löscheinrichtung

Quelle: IMR

Bereits die ersten Messungen durch den TÜV Essen (24.04.2013) zeigten, dass der eingesetzte Aktivkohlefilter die im Rohgas vorhandenen Stoffe deutlich reduziert. Es wurden die unterschiedlichsten Materialien aufgegeben. (Mischsammelschrott, Autokarosserien, Neublechabfälle, entsorgte Motoren, Müllschrott)

## Auszug aus TÜV Messbericht vom 24.04.2013

### TÜV NORD Umweltschutz

Messstelle bekannt gegeben nach § 26 BImSchG

#### Zusammenfassung

Anlage		Schredderanlage			
Emissionsquelle		Kamin			
Messergebnisse					
Messkomponente	Maßeinheit	maximaler Messwert abzüglich erweiterter Messunsicherheit	maximaler Messwert zuzüglich erweiterter Messunsicherheit	Emissions-Begrenzung	Betriebszustand
Rohgas					
Gesamt-C	mg/m <sup>3</sup>	434	480	-	Betriebsüblich
Rein gas					
Gesamt-C	mg/m <sup>3</sup>	88	98	50	Betriebsüblich
Staub	mg/m <sup>3</sup>	1,4	1,8	10	Betriebsüblich
Staubinhalstoffe der Klasse I					
Hg	mg/m <sup>3</sup>	0,00001	0,00001	0,015	Betriebsüblich
Tl	mg/m <sup>3</sup>	0,00001	0,00003	0,0025	Betriebsüblich
Staubinhalstoffe der Klasse II					
Pb	mg/m <sup>3</sup>	0,007	0,007	0,15	Betriebsüblich
Co	mg/m <sup>3</sup>	0,00007	0,00007	0,02	Betriebsüblich
Ni	mg/m <sup>3</sup>	0,0009	0,0017	0,005	Betriebsüblich
Staubinhalstoffe der Klasse III					
Sb	mg/m <sup>3</sup>	0,0003	0,0005	0,025	Betriebsüblich
Cr	mg/m <sup>3</sup>	0,001	0,003	<b>0,005</b>	Betriebsüblich
Cu	mg/m <sup>3</sup>	0,003	0,005	0,1	Betriebsüblich
Mn	mg/m <sup>3</sup>	0,001	0,003	0,05	Betriebsüblich
V	mg/m <sup>3</sup>	0,0001	0,0001	0,005	Betriebsüblich
Sn	mg/m <sup>3</sup>	0,001	0,001	0,1	Betriebsüblich
Se	mg/m <sup>3</sup>	0,00007	0,00007	0,5	Betriebsüblich
Summe der Klassen I bis III	mg/m <sup>3</sup>	0,01	0,03	1	Betriebsüblich
krebserzeugende Staubinhalstoffe der Klasse I					
As	mg/m <sup>3</sup>	0,0007	0,0007	0,002	Betriebsüblich
Cd	mg/m <sup>3</sup>	0,0004	0,0008	0,0015	Betriebsüblich

Betreiber: IMR GmbH  
Bericht Nr.: 8000643312 / 813EPK038

Messbericht  
Seite 3 von 27

Abbildung 11: Auszug aus dem Messbericht  
24.04.2013

Quelle: Messbericht TÜV Essen vom

Im Zeitraum April bis Juni 2013 wurden einige Modifikationen, zur Verbesserung der Arbeitsweise, am AK-Filter durchgeführt und immer wieder durch Messungen verifiziert.

Die Auswertung, der durch den TÜV NORD Umweltschutz Essen durchgeführten Messungen am 30.09.2013, 01.10.2013 und 02.10.2013, und auch der Messbericht zeigen, dass der AK-Filter bezogen auf die Reduzierung von Gesamt-C und anderen Schadstoffen jetzt einwandfrei arbeitet.

Die folgenden Bilder zeigen das bei den Messungen verarbeitete Vormaterial.



Abbildung12: Mischsammelschrott

Quelle: IMR

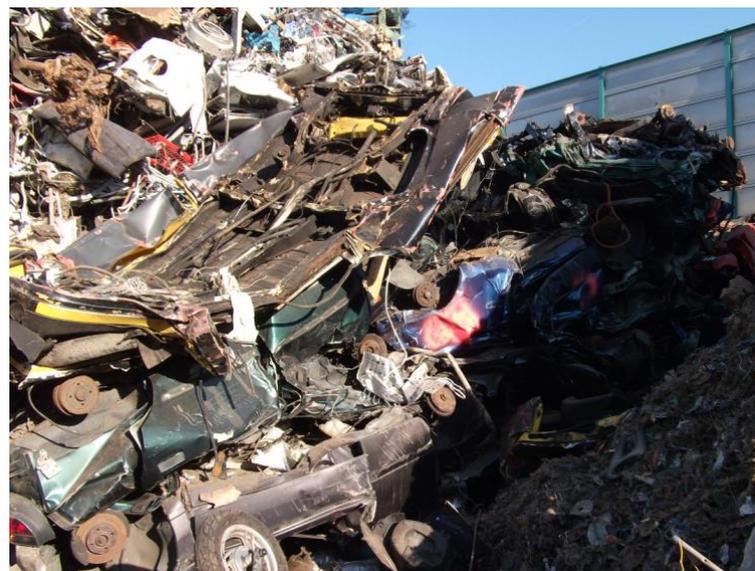


Abbildung 13: Autokarosserien

Quelle: IMR



Abbildung14: Motoren

Quelle: IMR



Abbildung15: MBA

Quelle: IMR

**Auszug aus dem Messbericht vom 30.09 bis 02.10.2013****TÜV NORD Umweltschutz**

Messstelle bekannt gegeben nach § 26 BImSchG

**5 Betriebszustand der Anlage während der Messungen****5.1 Produktionsanlage**

Während der Messungen wurden Betriebsbedingungen eingestellt, die den zurzeit üblichen Normalbetrieb darstellen.

Tab. 5-1: Betriebsbedingungen während der Messungen

Bezeichnung der Anlage	Schredderanlage		
	30.09.2013	01.10.2013	02.10.2013
Betriebszustand für	30.09.2013	01.10.2013	02.10.2013
Probenahmezeitraum	10:35 – 16:35	08:00 – 14:00	08:25 – 14:24
Autoslaps	60 Mg	60 Mg	40 Mg
Motoren	- Mg	30 Mg	- Mg
Mischsammelschrott	300 Mg	280 Mg	180 Mg
MBA (=Schrott aus Aufbereitungsanlagen)	- Mg	- Mg	190 Mg
Summe	360 Mg	370 Mg	410 Mg

Abweichungen von der genehmigten Betriebsweise: keine

Besondere Vorkommnisse: keine

**5.2 Abluftreinigungsanlagen**

Die Filteranlagen arbeiteten ohne erkennbare Auffälligkeiten.

Betreiber: IMR GmbH  
Bericht Nr.: 8000 645 243 / 813EFK092

Messbericht  
Seite 27 von 34

Abbildung16: Aufgabemengen bei den Messungen

Quelle: TÜV Bericht

## Messbedingungen z.B. 23.07.2013

Bestimmung des Abgasvolumenstroms nach VDI-Richtlinie 2640, Blatt 3					 Version 7.10, 08.01.2013		
Betreiber:	IMR						
Anlage:	Schredderanlage						
Messquerschnitt:	Kamin						
Betriebszustand:	Volllast						
Bemerkungen:	-						
Datum/Uhrzeit	23.07.2013			Sachverständiger: Andreas Kaiser (TÜV NORD)			
Luftdruck	[mbar]	1.010,0	u= 0,4	Absolutdruck Kanal	[mbar]	1.010,4	
Differenzdruck Kanal/Umgebung	[mbar]	0,4	u= 0,0	Dichte Betriebszustand	[kg/m³]	1,1060	
Abgastemperatur	[°C]	40,6	u= 1,3	Dichte Normzustand, feucht	[kg/m³]	1,2739	
Sauerstoffgehalt	[Vol.-%]	21,0	u= 0,13	Dichte Normzustand, trocken	[kg/m³]	1,2929	
Kohlendioxidgehalt	[Vol.-%]	0,0	u= 0,25	Wasserdampfgehalt	[Vol.-%]	3,9	
Schwefeldioxidgehalt	[g/m³]	0,0	u= 0,00	max. lokale Geschwindigkeit	[m/s]	10,8	
Gasfeuchte	[g/m³]	32,4	u= 0,7	min. lokale Geschwindigkeit	[m/s]	9,8	
Staurohrfaktor	∅	1,00		Verhältnis max/min		1,1	
Durchmesser	[m]	1,850	u= 0,0050				
Strömungsquerschnitt	[m²]	2,688	u= 0,015				
Anzahl Messachsen:		2		Messpunkte je Achse:		4	
Wandabstände	[m]	0,12	0,46	1,39	1,73		
Achse 1, [m/s]		10,2	10,5	10,4	10,5		
Messwerte	[Pa]	57,4	61,0	59,5	60,5		
Achse 2, [m/s]		9,8	10,6	10,8	10,5		
Messwerte	[Pa]	52,8	61,7	64,2	61,5		
<b>Ergebnisse mit Angabe der erweiterten Messunsicherheit nach VDI 4219</b>							
mittlerer Staudruck	[Pa]	59,8	U (0,95) absolut	U (0,95) relativ	eff. Freiheitsgrade		
mittlere Gasgeschwindigkeit	[m/s]	10,4	± 0,2	1,8 %	5		
Volumenstrom, Betriebszustand	[m³/h]	100.614	± 2.036	2,0 %	9		
Volumenstrom, Normzustand, feucht	[m³/h]	87.348	± 1.892	2,2 %	11		
Volumenstrom, Normzustand, trocken	[m³/h]	83.964	± 1.811	2,2 %	12		

Abbildung 17

Quelle: TÜV Essen

## Zusammenfassung aus dem Messbericht vom 30.09.,01.10. und 02.10.2013

### TÜV NORD Umweltschutz

Messstelle bekannt gegeben nach § 26 BImSchG

#### Zusammenfassung

Anlage		Schredderanlage			
Emissionsquelle		Kamin			
Messergebnisse					
Messkomponente	Maßeinheit	maximaler Messwert abzüglich erweiterter Messunsicherheit	maximaler Messwert zuzüglich erweiterter Messunsicherheit	Emissions-Begrenzung	Betriebszustand
Gesamt-C	mg/m <sup>3</sup>	24	27	50	Betriebsüblich
Staub	mg/m <sup>3</sup>	1	2	10	Betriebsüblich
Staubinhalstoffe der Klasse I					
Hg	mg/m <sup>3</sup>	0,000	0,000	0,015	Betriebsüblich
Tl	mg/m <sup>3</sup>	0,0000	0,0000	0,0025	Betriebsüblich
Staubinhalstoffe der Klasse II					
Pb	mg/m <sup>3</sup>	0,01	0,01	0,15	Betriebsüblich
Co	mg/m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,02	Betriebsüblich
Ni	mg/m <sup>3</sup>	0,002	0,003	0,005	Betriebsüblich
Staubinhalstoffe der Klasse III					
Sb	mg/m <sup>3</sup>	0,000	0,000	0,025	Betriebsüblich
Cr	mg/m <sup>3</sup>	0,003	0,004	0,005	Betriebsüblich
Cu	mg/m <sup>3</sup>	0,0	0,0	0,1	Betriebsüblich
Mn	mg/m <sup>3</sup>	0,01	0,01	0,05	Betriebsüblich
V	mg/m <sup>3</sup>	0,000	0,000	0,005	Betriebsüblich
Sn	mg/m <sup>3</sup>	0,0	0,0	0,1	Betriebsüblich
Summe der Klassen I bis III	mg/m <sup>3</sup>	0	0	1	Betriebsüblich
krebserzeugende Stoffe der Klasse I					
As	mg/m <sup>3</sup>	0,001	0,001	0,002	Betriebsüblich
Cd	mg/m <sup>3</sup>	0,0006	0,0008	0,0015	Betriebsüblich
Benzo(a)pyren	mg/m <sup>3</sup>	0,0000	0,0000	0,0002	Betriebsüblich
krebserzeugende Stoffe der Klasse III					
Benzol	mg/m <sup>3</sup>	0,02	0,03	0,99	Betriebsüblich
Summe der Klassen I und III	mg/m <sup>3</sup>	0	0	1	Betriebsüblich
PCDD/F	ng/m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,01	Betriebsüblich

Der maximale Tagesmittelwert für Gesamt-C betrug 19,2 mg/m<sup>3</sup>.

Betreiber: IMR GmbH  
Bericht Nr.: 8000 645 243 / 813EFK092

Messbericht  
Seite 3 von 34

Abbildung 18

Quelle: TÜV Bericht

## Details der Messungen vom 30.09.2013

### TÜV NORD Umweltschutz

Messstelle bekannt gegeben nach § 26 BImSchG

#### 6.2.1 Ergebnisse der Emissionsmessungen

Probenbezeichnung			1	2	3	Mittel	Max.	ELV
Datum			30.09.2013					
Beurteilungszeitraum	von		10:35	12:47	14:35			
	bis		11:05	13:17	15:05			
Kennzeichen Betriebszu- stand			Volllast	Volllast	Volllast			
Abgasvolumenstrom	V <sub>N</sub>	m <sup>3</sup> /h	105.900	105.900	105.900			
Gesamt-C	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	8,0	14,3	25,5	15,9	25,5	50
Staub	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	1,1	1,2	1,5	1,3	1,5	10
Staubinhaltsstoffe der Klasse I								
Hg	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,015
Tl	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	< 0,00002	0,00002	0,00002	< 0,00002	0,00002	0,0025
Staubinhaltsstoffe der Klasse II								
Pb	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,004	0,007	0,006	0,006	0,007	0,15
Co	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,00010	0,00010	0,00006	0,0007	0,00010	0,02
Ni	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,0014	0,0017	0,0012	0,0014	0,0017	0,005
Staubinhaltsstoffe der Klasse III								
Sb	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,0003	0,0003	0,0006	0,0004	0,0006	0,025
Cr	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,0019	0,0027	0,0015	0,0020	0,0027	0,005
Cu	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,004	0,004	0,003	0,004	0,004	0,1
Mn	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,0034	0,0045	0,0030	0,0036	0,0045	0,05
V	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,005
Sn	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,0009	0,0010	0,0009	0,0009	0,0010	0,1
Summe der Klassen I bis III	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,016	0,022	0,017	0,018	0,022	1
krebserzeugende Stoffe der Klasse I								
As	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,0008	0,0003	0,0004	0,0005	0,0008	0,002
Cd	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,0003	0,0007	0,0006	0,0005	0,0007	0,0015
krebserzeugende Stoffe der Klasse III								
Benzol	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	< 0,014	< 0,014	< 0,014	< 0,014	< 0,014	0,99
Summe der Klassen I und III	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	< 0,015	< 0,015	< 0,015	< 0,015	< 0,015	1

Betreiber: IMR GmbH  
Bericht Nr.: 8000 645 243 / 813EFK092

Messbericht  
Seite 29 von 34

Abbildung 19

Quelle: TÜV Bericht

## Details der Messungen vom 01.10.2013

### TÜV NORD Umweltschutz

Messstelle bekannt gegeben nach § 26 BImSchG

Probenbezeichnung			1	2	3	Mittel	Max.	ELV
Datum			01.10.2013					
Beurteilungszeitraum		von	08:00	10:05	12:26			
		bis	08:30	10:35	12:56			
Kennzeichen Betriebszu- stand			Vollast	Vollast	Vollast			
Abgasvolumenstrom	V <sub>N</sub>	m <sup>3</sup> /h	106.400	106.400	106.400			
Gesamt-C	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	16,3	21,2	10,0	15,8	21,2	50
Staub	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	1,5	0,8	0,6	1,0	1,5	10
Staubinhalstoffe der Klasse I								
Hg	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,015
Tl	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,0025
Staubinhalstoffe der Klasse II								
Pb	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,009	0,002	0,005	0,005	0,009	0,15
Co	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,00011	< 0,00004	< 0,00004	< 0,00006	0,00011	0,02
Ni	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,0021	0,0003	0,0005	0,0010	0,0021	0,005
Staubinhalstoffe der Klasse III								
Sb	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,0005	0,0001	0,0005	0,0004	0,0005	0,025
Cr	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,0030	0,0004	0,0006	0,0013	0,0030	0,005
Cu	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,005	0,001	0,001	0,002	0,005	0,1
Mn	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,0070	0,0007	0,0010	0,0029	0,0070	0,05
V	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,005
Sn	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,0035	< 0,0001	0,0009	< 0,0015	0,0035	0,1
Summe der Klassen I bis III	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,031	0,004	0,010	0,015	0,031	1
krebserzeugende Stoffe der Klasse I								
As	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,0004	0,0005	0,0004	0,0004	0,0005	0,002
Cd	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,0003	0,0005	0,0004	0,0004	0,0005	0,0015
krebserzeugende Stoffe der Klasse III								
Benzol	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	< 0,013	< 0,013	< 0,014	< 0,013	< 0,014	0,99
Summe der Klassen I und III	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	< 0,014	< 0,014	< 0,015	< 0,014	< 0,015	1

Betreiber: IMR GmbH  
 Bericht Nr.: 8000 645 243 / 813EFK092

Messbericht  
 Seite 30 von 34

Abbildung 20

Quelle: TÜV Bericht

## Details der Messungen vom 02.10.2013

### TÜV NORD Umweltschutz

Messstelle bekannt gegeben nach § 26 BImSchG

Probenbezeichnung			1	2	3	Mittel	Max.	ELV
Datum			02.10.2013					
Beurteilungszeitraum	von		08:25	10:25	12:32			
	bis		08:55	10:55	13:02			
Kennzeichen Betriebszustand			Volllast	Volllast	Volllast			
Abgasvolumenstrom	V <sub>N</sub>	m <sup>3</sup> /h	107.200	107.200	107.200			
Gesamt-C	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	17,8	20,0	22,9	20,2	22,9	50
Staub	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,7	0,9	0,3	0,6	0,9	10
Staubinhalstoffe der Klasse I								
Hg	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,015
Tl	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	< 0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,00002	0,0025
Staubinhalstoffe der Klasse II								
Pb	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,0033	0,0025	0,0004	0,0023	0,0033	0,15
Co	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	< 0,00004	< 0,00004	< 0,00004	< 0,00004	< 0,00004	0,02
Ni	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,0005	0,0007	0,0004	0,0005	0,0007	0,005
Staubinhalstoffe der Klasse III								
Sb	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002	0,025
Cr	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,0006	0,0009	0,0002	0,0006	0,0009	0,005
Cu	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,001	0,003	0,001	0,002	0,003	0,1
Mn	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,05
V	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	< 0,0001	0,0001	0,0001	< 0,0001	0,0001	0,005
Sn	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,0009	0,0007	0,0004	0,0007	0,0009	0,1
Summe der Klassen I bis III	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,008	0,009	0,004	0,007	0,009	1
krebserzeugende Stoffe der Klasse I								
As	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,0008	0,0003	0,0004	0,0005	0,0008	0,002
Cd	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,0003	0,0007	0,0006	0,0005	0,0007	0,0015
krebserzeugende Stoffe der Klasse III								
Benzol	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,027	< 0,013	< 0,014	< 0,018	0,027	0,99
Summe der Klassen I und III	E <sub>M</sub>	mg/m <sup>3</sup>	0,028	< 0,014	< 0,015	< 0,019	0,028	1

Betreiber: IMR GmbH  
 Bericht Nr.: 8000 645 243 / 813EFK092

Messbericht  
 Seite 31 von 34

Abbildung 21

Quelle: TÜV Bericht

**Diagramme zu den Messwerten**

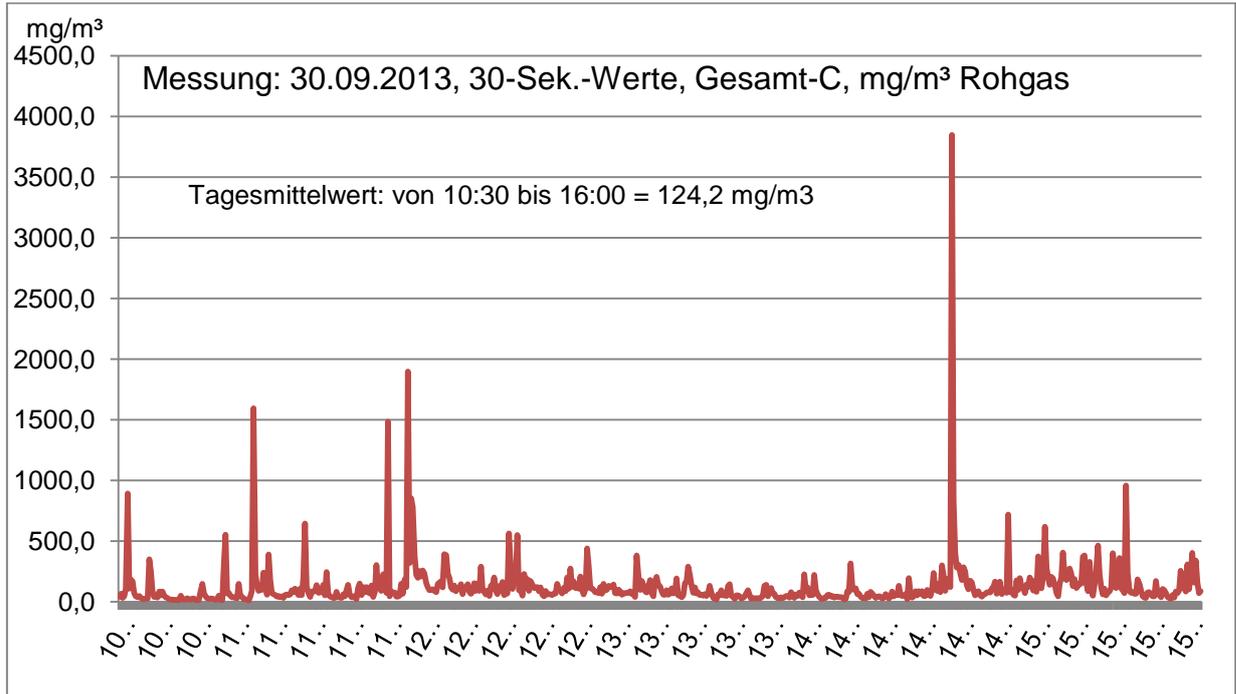


Abbildung 22

Quelle: IMR

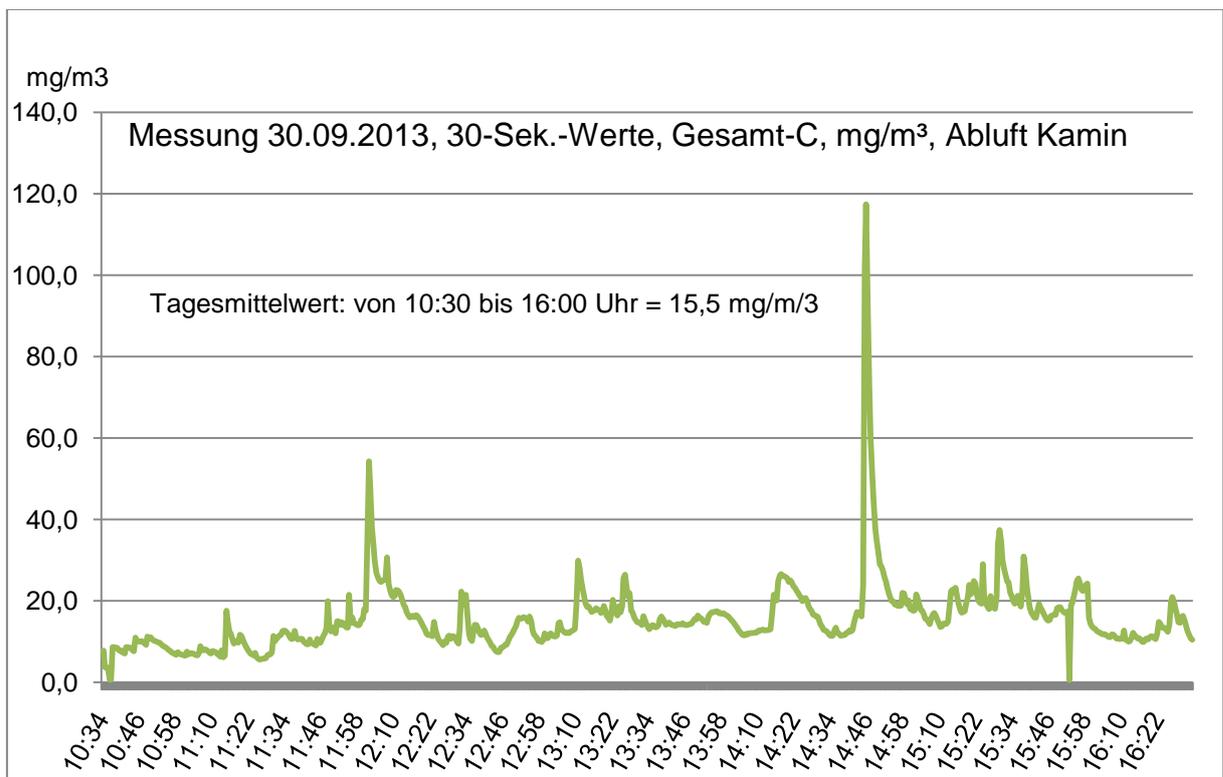


Abbildung 23

Quelle: IMR

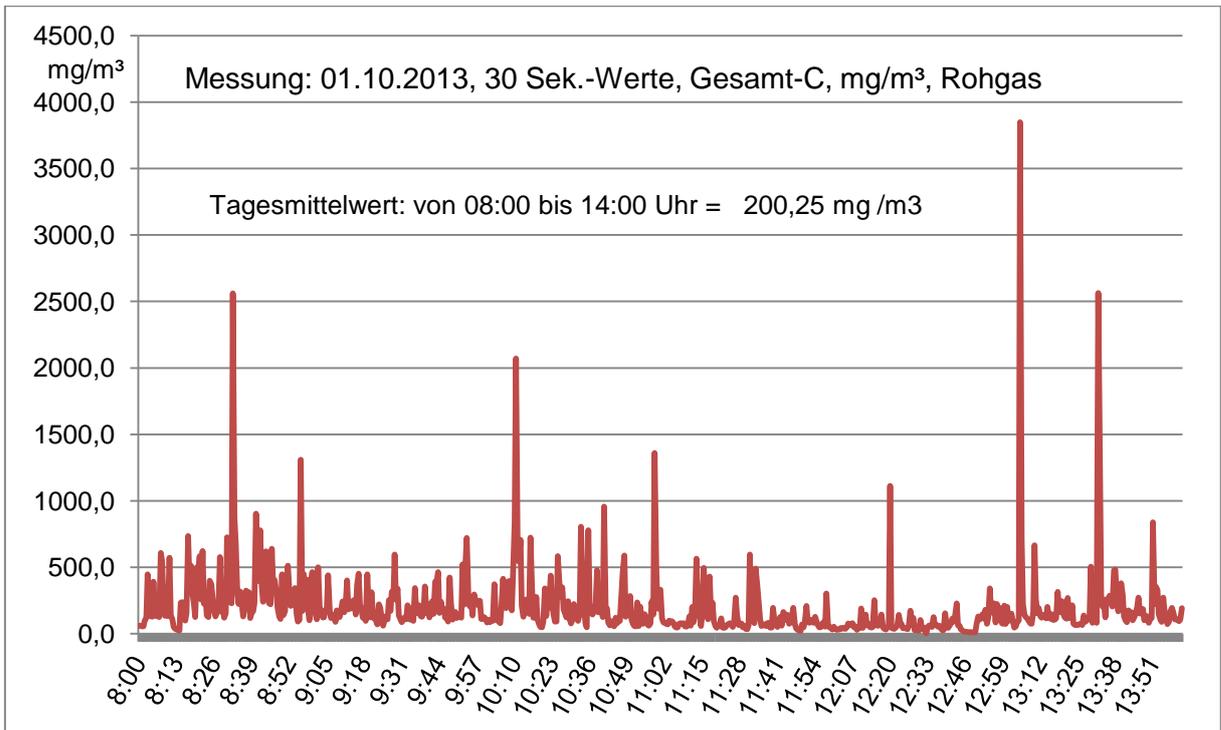


Abbildung 24: Auswertung der Messdaten

Quelle: IMR

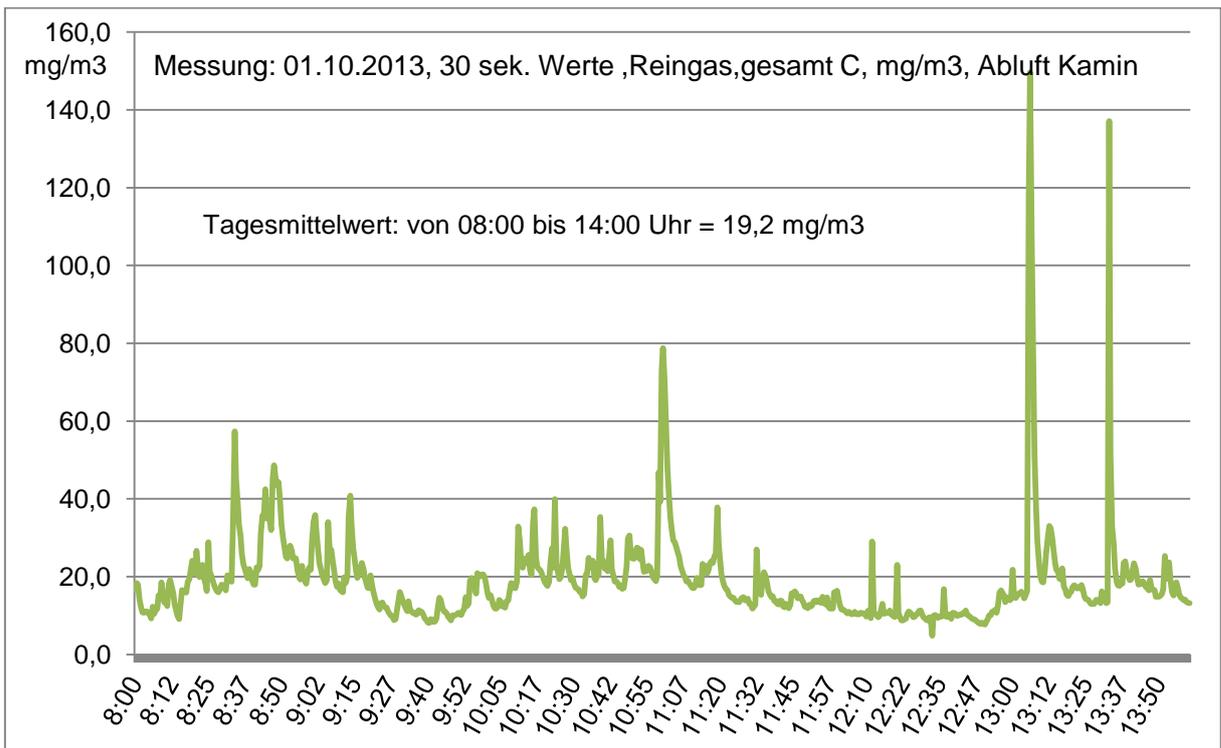


Abbildung 25: Auswertung der Messdaten

Quelle: IMR

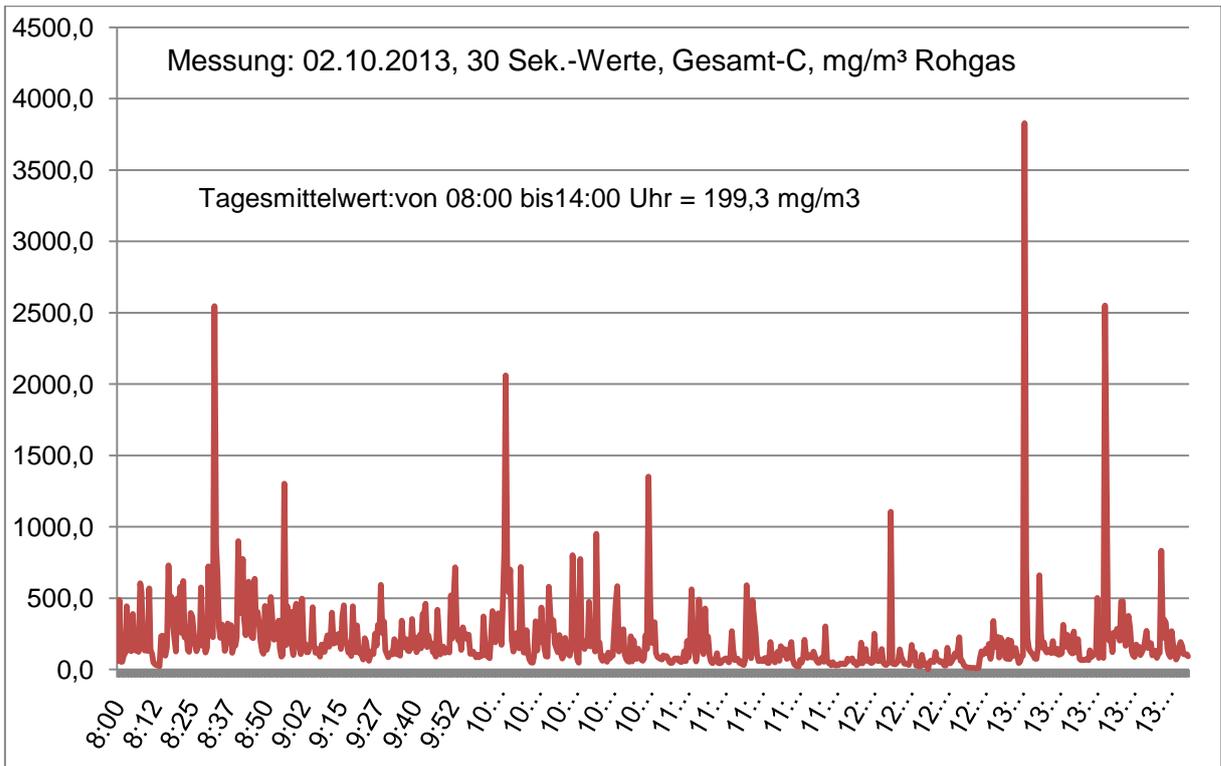


Abbildung 26: Auswertung der Messdaten

Quelle: IMR

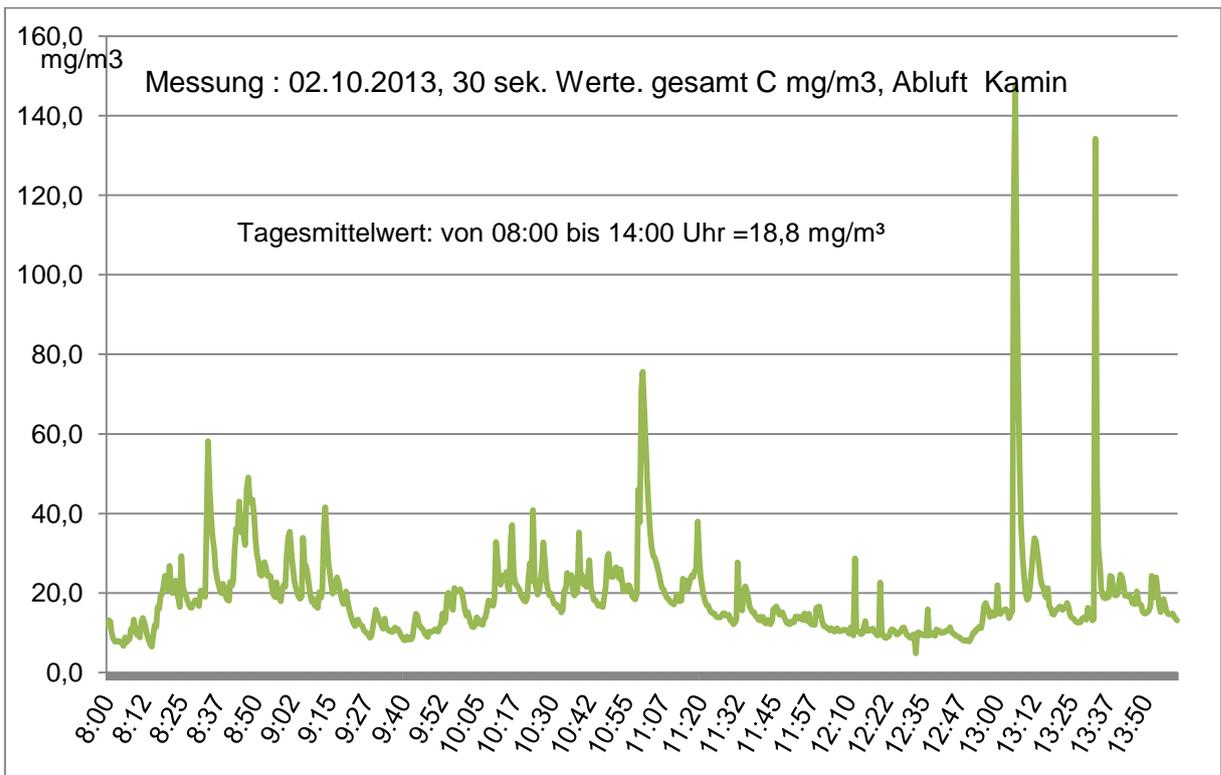


Abbildung 27: Auswertung der Messdaten

Quelle: IMR

Wie die Messungen zeigen werden ca. 90 % der im Rohgas vorhandenen Gesamt-C-Anteile eliminiert.

Die geplante Reduzierung der Schadstoffe wurde erreicht. Der Wartungsaufwand für den AK Filter war gering, (tägliche Kontrolle, 1x im Monat Reinigung von Kohlenstaub) es gab keinerlei Vorkommnisse bezogen auf Verpuffungen, Brände. Die Temperaturüberwachung arbeitete problemlos, die automatische Löscheinrichtung löste nicht aus.

### 3.4 Umweltbilanz

Die Ergebnisse des Demonstrationsvorhabens zeigen, dass eine erhebliche Reduzierung der Umweltbelastungen durch den Betrieb von Shredder Anlagen zum Metallrecycling möglich ist. Im Idealfall können durch das innovative Konzept sowohl die Schadstoffemissionen stark verringert werden als auch eine erhebliche Brutto-Energieeinsparung trotz zusätzlicher Aufwendungen für die Luftreinhaltung erzielt werden.

Die angestrebte Energieeinsparung von ca. 20% wurde erreicht, das bedeutet bei der Shredderanlage eine Reduzierung des Energieverbrauchs beim Hauptaggregat von rund 9 kW je Tonne Aufgabegut. Zu Grunde gelegt, dass die Auslastung am Standort annähernd konstant bei einer Kapazität von 100.000 t pro Jahr liegt, können jährlich rund 1.071 MW Energieeinsparung allein am Standort Krefeld erzielt werden.

Diese Reduzierung des Primärenergiebedarfs geht auf Basis des 2010 geltenden CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors für den deutschen Strom mix mit einer Verminderung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes von ca. 600 t/Jahr einher. Die nachstehende Tabelle 1 zeigt die Umwelteffekte im Überblick.

	Primärenergie in kW/t	Einsparung in MW pro Jahr	Einsparung CO <sub>2</sub> in t pro Jahr
Einsparung Hauptaggregat	9 kW/t	918 MW	517 t
Einsparung Nebenggregate	1,5 kW/t	153 MW	86 t
<b>Gesamt</b>	<b>10,5 kW/t</b>	<b>1071 MW</b>	<b>603 t</b>

Abbildung 28: Tabelle 1: Jährliche Gesamteinsparung der Referenzanlage am Standort Krefeld  
Quelle: IMR

Die folgende Tabelle 2 zeigt im Überblick die angestrebten und erreichten Emissionswerte für zentrale Schadstoffe im Zusammenhang mit den geltenden Grenzwerten der TA-Luft. Sie basieren auf einer Abluftmenge von 100.000 m<sup>3</sup>/h, wie Sie im anlagenüblichen Betrieb zu erwarten ist.

Schadstoffkomponente TA Luft	Emissionswert	Reduzierung	
	Vorgabe TA Luft	angestrebtes Ziel	erreicht siehe Messberichte
Gesamtstaub	20 mg/m <sup>3</sup>	5 mg/m <sup>3</sup>	< 2 mg/m <sup>3</sup>
Klasse I	0,05 g/m <sup>3</sup>	0,03 mg/m <sup>3</sup>	0,00004 mg/m <sup>3</sup>
Klasse II	0,05 g/m <sup>3</sup>	0,03 mg/m <sup>3</sup>	0,0018 mg/m <sup>3</sup>
Klasse III	1 mg/m <sup>3</sup>	0,5 mg/m <sup>3</sup>	0,013 mg/m <sup>3</sup>
Organische Stoffe, angegeben als Gesamtkohlenstoff	50 mg/m <sup>3</sup>	25 mg/m <sup>3</sup>	20 mg/m <sup>3</sup> Mittelwert 3x6 Std
NR 5.2.7.1.1	0,05 g/m <sup>3</sup>	0,01 mg/m <sup>3</sup>	0,0035 mg/m <sup>3</sup>
Klasse I			

Abbildung 29: Tabelle 2

Quelle: IMR

#### 4. Empfehlungen

Die Auswertung der Daten zeigt, dass die Maßnahmen bezogen auf Energie und Schadstoffreduzierung die Umweltbelastung durch Shredderanlagen deutlich reduziert und die Vorgaben der TA Luft problemlos erreicht werden.

Eine Modifizierung der vorhandenen Anlagen und die Berücksichtigung bei der Auslegung neuer Anlagen werden empfohlen.

Die Investition für die Umrüstung einer 1470 KW Shredderanlage belaufen sich auf ca. 1,4 Millionen €, können sich aber je nach Zustand der Anlage erhöhen.

### **Betriebskosten Aktivkohlefilter:**

Wartung: tägliche Kontrolle, einmal im Monat Absaugung von Kohlenstaub (ca. 20 Std.). Wechsel der Aktivkohle nach 100.000 t Aufgabe (ist abhängig von der Belastung der Rohluft) Kosten: ca. 20.000,00 €.

Bei einer Belastung der Rohluft mit mehr als 3 mg/m<sup>3</sup> ist es sinnvoll einen Vorfilter einzusetzen, um die Funktion der Aktivkohle für einen längeren Zeitraum sicherzustellen. Der Wasserverbrauch ist bei Ermittlung der Betriebskosten vernachlässigbar.

Der Aktivkohlefilter arbeitete problemlos.

Die automatische Temperaturüberwachung und Löscheinrichtung löste in 12 Monaten nicht aus.

**IMR Innovative Metal Recycling GmbH**

**Hentrichstraße 68**

**47809 Krefeld**

**Geschäftsführung**



**Ulrich Müller**



**Dipl.-Ing. Steffen Adam**



**Simone Konjkav**