

BMUV-UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM

Abschlussbericht

zum Vorhaben

*Shredderanlage mit modernster, trocken arbeitender Luftreinigungstechnik
NKa3 - 003373*

Zuwendungsempfänger/-in

*Steil Recycling GmbH & Co. KG
Ostkai 6
54293 Trier
www.steil.de*

Umweltbereich

NKa3 - Umwelt

Laufzeit des Vorhabens

16.09.2019 - 31.12.2022

Autor/-en

*Dr.-Ing. Christian Satlow
M. Ing. P. Döhr*

**Gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz,
nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz**

Datum der Erstellung

20.06.2023

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen UBA: NKa3 - 003373	Projekt-Nr.: NKa3 - 003373
Titel des Vorhabens: Shredderanlage mit modernster, trocken arbeitender Luftreinigungstechnik	
Autor/-en (Name, Vorname): Dr.-Ing. Christian Satlow M. Ing. P. Döhr	Vorhabenbeginn: 16.09.2019 Vorhabenende (voraussichtliches Abschlussdatum): 31.12.2022
Zuwendungsempfänger/-in (Name, Anschrift): Steil Recycling GmbH & Co. KG Ostkai 6 54293 Trier	Veröffentlichungsdatum: 20.06.2023 Seitenzahl: 52
Gefördert im BMUV-Umweltinnovationsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz	
Kurzfassung (max. 1.500 Zeichen): Für die Anpassung der Abluftreinigung von Shredderanlagen an die Anforderungen der neuen TA-Luft wurde die reine Verwendung einer trocken arbeitenden Abluftreinigung erprobt. Dabei wurden unterschiedliche metallische Stoffströme innerhalb der Anlage verarbeitet und Erkenntnisse für die Vorbehandlung und -sortierung gewonnen. Dadurch konnten die Stoffströme optimal auf die Abluftreinigung angepasst werden, um eine hohe Effizienz und Abscheidegrad zu realisieren. Die automatische Steuerung der Shredderanlage ist darauf ausgerichtet einen möglich gleichmäßigen Arbeitsbetrieb darzustellen, um somit ebenfalls Belastungsspitzen, sowohl im Bereich des Energieeinsatzes, als auch im Bereich der Emissionen, zu reduzieren.	
Schlagwörter: Abluftreinigung, Shredder, TA-Luft, Metalaufbereitung	
Anzahl der gelieferten Berichte Papierform: Elektronischer Datenträger:	Sonstige Medien: Veröffentlichung im Internet geplant auf der Webseite:

Report Coversheet

Reference-No. Federal Environment Agency: NKa3 - 003373	Project-No.: 003373
Report Title: Shredder plant with state-of-the-art dry air purification technology	
Author/Authors (Family Name, First Name): Dr.-Ing. Christian Satlow M. Ing. P. Döhr	Start of project: 16.09.2019
	End of project: 31.12.2022 (approx.)
Performing Organisation (Name, Address): Steil Recycling GmbH & Co. KG Ostkai 6 54293 Trier	Publication Date: 20.06.2023
	No. of Pages: 52
Funded in the Environmental Innovation Programme of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Nuclear Safety and Consumer Protection	
Summary (max. 1.500 characters): For the adaptation of the exhaust air purification of shredder plants to the requirements of the new TA-Luft, the pure use of a dry operating exhaust air purification was tested. Different metallic material flows were processed within the plant and findings for pretreatment and sorting were obtained. As a result, the material flows could be optimally adapted to the exhaust air cleaning system in order to realize high efficiency and separation efficiency. The automatic control system of the shredder plant is designed to achieve the smoothest possible operation in order to reduce peak loads in terms of energy consumption and emissions.	
Keywords: exhaust air treatment, Shredder, TA-Luft, metal waste processing	

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung	5
1.1. Kurzbeschreibung des Unternehmens und ggf. der Projektpartner.....	5
1.2. Ausgangssituation	7
2. Vorhabenumsetzung.....	13
2.1. Ziel des Vorhabens.....	13
2.2. Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)	15
2.3. Umsetzung des Vorhabens	17
2.4. Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)	25
2.5. Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten	28
2.6. Konzeption und Durchführung des Messprogramms.....	29
3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung.....	32
3.1. Bewertung der Vorhabendurchführung	32
3.2. Stoff- und Energiebilanz.....	38
3.3. Umweltbilanz	40
3.4. Wirtschaftlichkeitsanalyse	42
3.5. Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren	43
4. Übertragbarkeit	45
4.1. Erfahrungen aus der Praxiseinführung	45
4.2. Modellcharakter/Übertragbarkeit (Verbreitung und weitere Anwendung des Verfahrens/der Anlage/des Produkts).....	46
4.3. Kommunikation der Projektergebnisse	46
5. Zusammenfassung/Summary	47
6. Literatur	50
7. Anhang	51

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schema einer Shredderanlage	7
Abbildung 2: Wirkprinzip der Shredder / Hammermühle.....	9
Abbildung 3:Wirkprinzip des Zick-Zack Sichter	9
Abbildung 4: Anlagenfließbild einer einstufigen Nassentstaubung.....	10
Abbildung 5: Ansicht einer konventionellen Nassentstaubung.....	10
Abbildung 6: Anlagenfließbild einer weiterentwickelten, zweistufigen Nassentstaubung.....	11
Abbildung 7: Energetische Vorgänge in der Mühle	12
Abbildung 8: Matrix Abhängigkeiten	17
Abbildung 9: Anlagenfließbild einer trockenen Entstaubung	19
Abbildung 10: Ansicht einer Trockenentstaubung.....	20
Abbildung 11: Mischring im eingebauten Zustand	22
Abbildung 12: Emissionsschutz an der Shredderanlage	23
Abbildung 13: Schallschutzeinhausung an Mühle und Sichter	23
Abbildung 14: Einstellung je Fraktion im SPS-Programm	24
Abbildung 15: Brandschutzsysteme GreCon, STS und Rosenbauer.....	25
Abbildung 16: Übersicht Massenstrommessung über Bandwaagen	28
Abbildung 17: Messgeräteaufbau von MBBM	29
Abbildung 18: Smart FID-Messgerät Fabrik Ersatec sowie Messbetrieb am Shredder	30
Abbildung 19: IR-Messung auf Förderband bei Kühlschrott, Alu und MBA	33
Abbildung 20: Belastung der Mühle zu Emissionen bei MBA	36
Abbildung 21: Interne Messung bei MBA und optionalen Einstellungen.....	37
Abbildung 22: Amortisationsrechnung	43

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der Projektpartner	6
Tabelle 2: Grenzwerte aus dem Projektantrag	14
Tabelle 3: Grenzwerte der TA-Luft 2021.....	14
Tabelle 4: Auslegungsdaten der Anlage	15
Tabelle 5: Installierte elektrische Leistung [in kW] in der Anlagentechnik.....	21
Tabelle 6: Installierte elektrische Leistung in der Entstaubung	21
Tabelle 7: Grenzwerte aus der Genehmigung.....	27
Tabelle 8: Messergebnisse alter Shredder (Erfolgsbewertung).....	30
Tabelle 9: Temperaturvergleich bei der Zerkleinerung	32
Tabelle 10: Messergebnisse neuer Shredder (Erfolgsbewertung)	38
Tabelle 11: Energieeffizienz neuer und alter Shredder	39
Tabelle 12: Staubemissionen pro Anlage.....	41
Tabelle 13: C-Gesamt Emissionen pro Anlage	41
Tabelle 14: Annahmen für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	42

1. Einleitung

Auf EU-Ebene gibt es seit Jahren ein implementiertes Verfahren zur Erstellung von industriellen Standards, den Merkblättern zur „Besten verfügbaren Technik (BVT)“. Ermächtigt durch die IPPC Directive werden alle 5 Jahre „Best Reference Documents for Best available techniques (BAT)“¹ herausgegeben. Diese Dokumente dienen den Mitgliedsstaaten als Referenz für einen einheitlichen hohen industriellen Standard.

Zusätzlich wurde mit dem Programm „Fit for 2055 – The EU Plan for a green transition“² von der EU das Ziel ausgegeben bis 2030 mindestens 55 % der Emissionen zu senken. Bis 2055 soll die Klimaneutralität erreicht werden. Auch wenn in der Diskussion von Emissionsminderungen der Fokus primär auf CO₂ liegt, ist es unabdingbar, sich darüber hinaus mit der Reduzierung übriger Luftschadstoffe zu befassen. Weiterhin spart der effiziente Einsatz von Energie in unterschiedlichen Formen wie elektrische, Wärme- und kinetische Energie, sowie weiterer Einsatzstoffe wie Wasser und Zuschlagsstoffe, CO₂ und ist wesentlich für nachhaltige Prozesse im Bereich der Recyclingindustrie.

1.1. Kurzbeschreibung des Unternehmens und ggf. der Projektpartner

Die Steil Gruppe beschäftigt sich seit fast 40 Jahren mit der Aufbereitung von metallischen Abfällen. In diesem Zuge wurde bereits 1978/1979 eine Shredderanlage, Fabrikat Lindemann errichtet, um komplexe Anwendungen aus unterschiedlichen Materialien (Altautos, Elektronikschrott, Misch- und Sammelschrotte, etc.) zu zerkleinern und zu sortieren. Derzeit betreibt die Steil Gruppe an den Standorten Trier und Eberswalde insgesamt vier Shredderanlagen und eine Vielzahl von nachgeschalteten Aufbereitungsanlagen. Dadurch können sortenreine Fraktionen wie Eisen/Stahl, Aluminium, Kupfer, etc. zurückgewonnen werden, die direkt in Stahlwerken, Gießereien oder Hüttenwerken wieder eingesetzt werden können. Im Jahr 2022 wurden ca. 1,6 Mio. Tonnen diverser Sekundärrohstoffe durch die Steil Gruppe für die Rückführung in die Kreislaufwirtschaft aufbereitet. Mit ihren 650 Mitarbeitern in über 10 Niederlassungen wird ein wesentlicher Beitrag zur Kreislaufführung von metallischen Abfällen beigetragen. Um unseren Abnehmern qualitativ hochwertige Sekundärrohstoffe anbieten zu können, investieren wir stetig in neue und innovative Anlagentechnik.

Die weiteren Beteiligten an diesem Projekt sind Firmen, die im Anlagenbau tätig sind und sich in der Vergangenheit durch Innovationen im Bereich der Shredder- und Abluftreinigungstechnik ausgezeichnet haben. Darüber hinaus sind für den Bereich Lärmemissionsminderungsmaßnahmen sowie Elektrotechnik zwei weitere Firmen gewählt,

¹ Quelle: Best Reference Documents for Best available techniques (BAT) (Anlage)

² <https://www.consilium.europa.eu/de/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/> Stand: 25.04.2023

denen die Spezifikationen dieses Anlagentyps aus Ihrer langjährigen Tätigkeit umfänglich bekannt sind.

Tabelle 1: Übersicht der Projektpartner

Gewerk	Unternehmen	Tätigkeitsfelder
Mühle, Hydraulik	Comes Maschinen- und Apparatebau GmbH ³ Seiferstraße 16 54293 Trier Telefon +49 651 9677-0	<ul style="list-style-type: none"> ○ Schlüsselfertiger Maschinen- und Industrieanlagenbau ○ Fertigung von schwersten Schweißbaugruppen ○ Groß- und Spezialreparaturen ○ Auftrags- und Reparaturschweißungen ○ Spanende Bearbeitung auf Großbohrwerken ○ Reparatur und Instandhaltung von Kundenanlagen ○ schlüsselfertige Komplettlösungen ○ Planung, Projektierung, Installation und Inbetriebnahme der gesamten elektrotechnischen und steuerungstechnischen Komponenten
Schallschutz, Steuerhaus, Sortierkabine	ILG-International GmbH ⁴ Forstweg 5 52382 Niederzier Telefon +49 2428 9433-0	<ul style="list-style-type: none"> ○ Entwicklung und Herstellung zeitgemäßer schallreduzierender Produkte ○ Schallschutzeinhausungen von Recyclingmaschinen und Anlagen jeglicher Art ○ Aufenthaltskabinen sowie Lager- und Produktionshallen
Elektro- Infrastruktur	NATUS GmbH & Co. KG ⁵ Loebstraße 12 54292 Trier Telefon +49 651 1449-0	<ul style="list-style-type: none"> ○ Mittel- und Niederspannungs-Systemen ○ Anlagen- und Prozessautomatisierung ○ Leittechnik und Service ○ elektrotechnischen Gesamtlösungen
Entstaubung, Fördertechnik Steuerung	Ventilatorenfabrik Oelde GmbH ⁶ Robert-Schuhmann-Ring 21 59302 Oelde Telefon +49 2522 750	<ul style="list-style-type: none"> ○ Anlagen und Komponenten zum Absaugen, Fördern oder Abscheiden von Luft, Dämpfen und Gasen sowie von Stäuben und Leichtgut. ○ Industrieventilatoren ○ Entstaubungs- und Prozessgasreinigungsanlagen ○ Abluftbehandlungsanlagen ○ Be- und Entlüftungs-, Heizungs- und Klimatisierungsanlagen ○ Recycling- und Abfallaufbereitungsanlagen ○ Anlagen für die Oberflächentechnik ○ Dienstleistungen wie Wartung, Instandsetzung, Prüfung, Reparatur, Anlagenmodernisierung, -rationalisierung

³ <https://www.comes-trier.de/pages/de/start.php>; 24.03.2023

⁴ <https://ilg-international.com/>; 24.03.2023

⁵ <https://www.natus.de/>; 24.03.2023

⁶ <https://www.venti-oelde.de/>; 24.03.2023

1.2. Ausgangssituation

Mit Erarbeitung und Vorlage des „EU-Beschluss - Schlussfolgerungen BVT Abfallbehandlung“⁷ vom 10.08.2018, in dem ein eigenes Kapitel für Shredderanlagen eingefügt wurde, zeichnete sich früh ab, dass die seit dem 24.07.2002 gültige TA-Luft spätestens in vier Jahren nach Auslaufen der Übergangsfrist novelliert werden würde. Aufgrund der in den BVT-Schlussfolgerungen unter Kapitel 6 formulierten Änderungen für Emissionen aus Shredderanlagen war eine Anpassung der Betriebsführung notwendig. So wurden erstmalig auch „Beobachtungsparameter“ festgelegt, die keinen Grenzwert aufwiesen, sondern lediglich zur Datenbildung erhoben werden sollten. Die bundesdeutsche Umsetzung wurde mit der Neufassung der TA-Luft am 18.08.2021 und dem Inkrafttreten am 01.12.2021 vollzogen.⁸

In Deutschland werden 41 Großshredder (so genannte Altfahrzeugshredder) mit einem Durchsatz von > 75 t/h betrieben (vgl. Abbildung 1).⁹ Hierbei handelt es sich um ein etabliertes Verfahren für die Zerkleinerung und Aufbereitung von metallischen Abfallstoffströmen. Da es sich um ein kaltmechanisches Verfahren handelt, entstehen bei der Zerkleinerung keine Abgase, sondern die Emissionen werden aus dem zu behandelnden Material freigesetzt. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um Staub und sonstige Partikel. Durch die mechanische Beanspruchung innerhalb des Rotorraumes eines Shredders, sowie die dadurch entstehende Wärme, werden auch Kohlenwasserstoff und andere flüchtige Emissionen aus dem Stoffstrom gelöst.

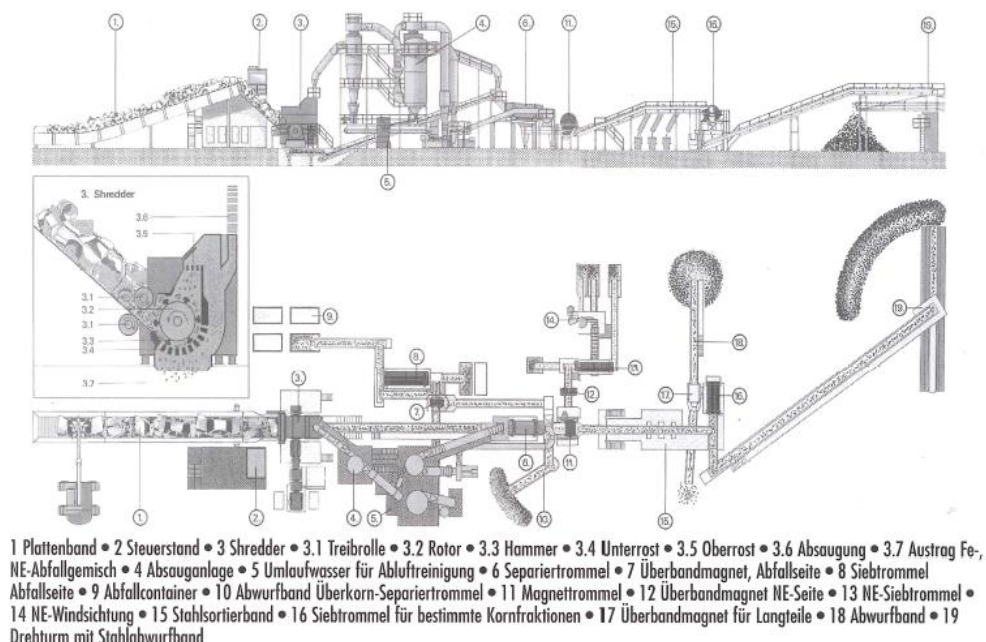


Abbildung 1: Schema einer Shredderanlage⁹

⁷ Quelle: Durchführungsbeschluss (EU) 2018/1147 der Kommission vom 10. August 2018

⁸ Quelle: TA-Luft; Gemeinsames Ministerialblatt, 14. September 2021, S. 1050ff

⁹ Quelle: BDSV (1998): Fachbuch Stahlrecycling

Wie im BVT Merkblatt Großshredder der BDSV beschrieben, gibt es unterschiedliche Einflussgrößen, die für die Emissionen eines Shredders entscheidend sind. Diese sind:

- Platzorganisation und Kontrolle des Vormaterials, mit Selektion von Fehlwürfen
- Art der Beanspruchung und Tiefe des Aufschlusses, abhängig von Shreddertechnik und verarbeitbaren Vormaterialien
- Durchsatz / Verweildauer des Materials im Rotorraum
- Volumenstrom

Derzeit betriebene Shredderanlagen nutzen zur Emissionsminderung der Abluft den Zyklon für die Grobgutabscheidung und einen Venturi Wäscher für die Abtrennung der feinen Bestandteile. Grund dafür sind im Wesentlichen die bei der Zerkleinerung von metallischen Abfallströmen vorherrschenden Randbedingungen:

- Diskontinuierliche Betriebsweise
- Heterogene Vormaterialien (z.B. unterschiedliche Schüttdichte und Korngröße),
- trägheitsbedingte Leistungsschwankungen aufgrund von Lastwechseln (Materialmenge in der Mühle)
- außerplanmäßigen Betriebszuständen, wie zum Beispiel Verpuffungen

Prägend für die Auswahl einer anderen Emissionsminderungstechnik ist die Möglichkeit einer Verpuffung. Durch die unsachgemäße Entsorgung von Kanistern, Druckbehältern oder anderen Behältern, in denen brennbare Gase oder Flüssigkeiten aufbewahrt wurden, ist das Risiko einer Verpuffung nur unzureichend durch Vorsortierung zu lösen.

1.2.1 Technische Ausgangssituation

Bei der Aufbereitung von metallhaltigen Abfällen wird hauptsächlich auf eine sogenannte Shredderanlage zurückgegriffen. Eine entsprechende Schemaabbildung ist in Abbildung 1 dargestellt. Der Prozess beginnt mit der Zerkleinerung des Aufgabematerials in der Hammermühle (Abbildung 2). Auf dem rotierenden Rotor befinden sich bis zu 14 Fliehkrafthämmer, die das Material durch Schlag- und Prallbeanspruchung zerkleinern. Die dabei entstehende staubeladene Luft wird abgesaugt und gelangt in einen aufwendigen, einstufigen bzw. zweistufigen Reinigungsprozess (Abbildung 5: Ansicht einer konventionellen Nassentstaubung (Zyklon-grün; Venturidüse-hellgrün; Tropfenabscheider-blau) Abbildung 6: Anlagenfließbild einer weiterentwickelten, zweistufigen Nassentstaubung).

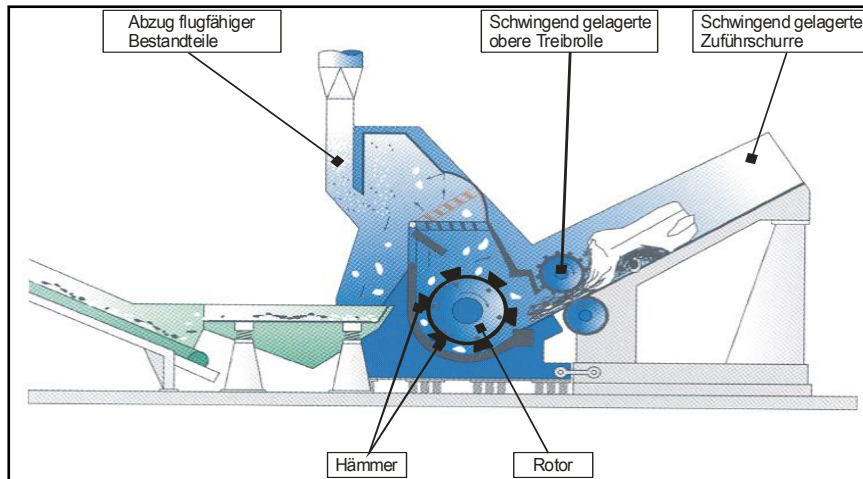


Abbildung 2: Wirkprinzip der Shredder / Hammermühle¹⁰

Die zerkleinerte Fraktion wird nach der Mühle einem Windsichter (Abbildung 3) zugeführt. Hier werden durch einen Luftstrom leichte, flugfähige Stoffe (Leichtgut) von meist einem metallreichen Materialstrom, dem Schwergut, entfernt. Dabei durchströmt die von unten eingeblasener Luft den von oben aufgegebenen Stoffstrom, wodurch die leichten und flugfähigen Materialien mitgerissen und oben abgesaugt werden. Die verwendete Luft reichert sich durch die Durchströmung des Materials mit Staubpartikeln an und muss ebenfalls einer Reinigung unterzogen werden.

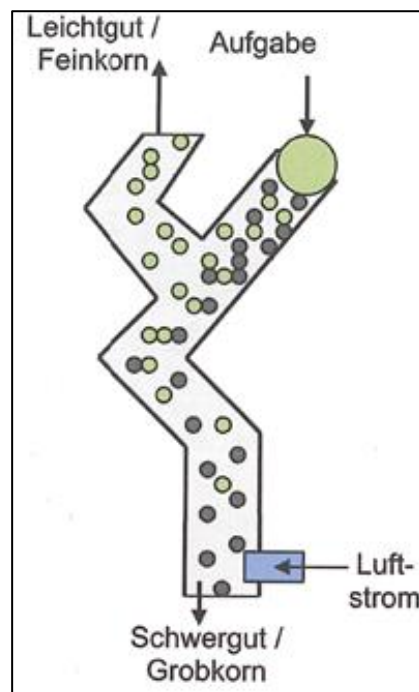


Abbildung 3: Wirkprinzip des Zick-Zack Sichter¹¹

¹⁰ Quelle: Metso Lindemann GmbH

¹¹ Quelle: Martens, H./Goldmann, D. (2016): Recyclingtechnik

Bei der aktuellen Anlagentechnik, wie sie in nahezu allen Shredderanlagen betrieben wird, finden ein- oder zweistufige Abluftreinigungssysteme Anwendung. Im einstufigen System werden beide Luftmassenströme zunächst zusammengeführt (Abbildung 4).

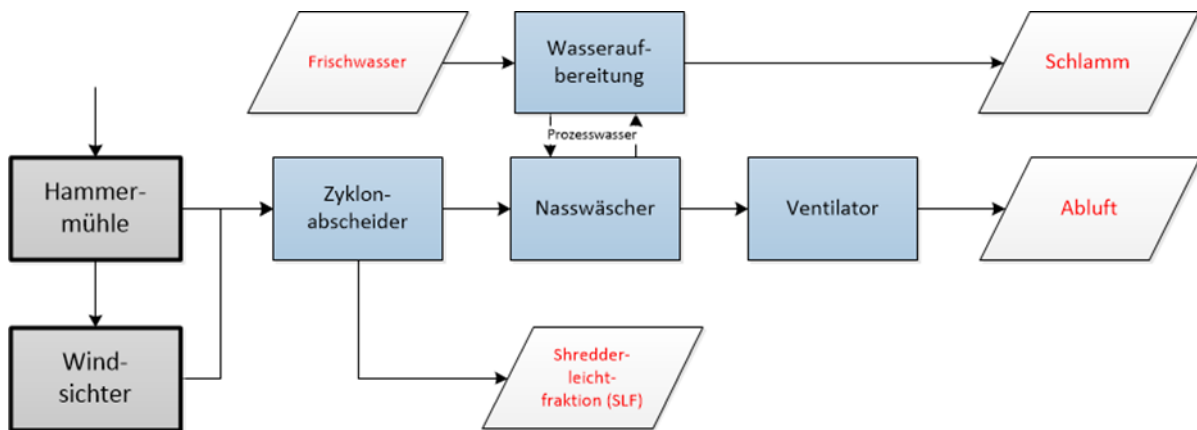


Abbildung 4: Anlagenfließbild einer einstufigen Nassentstaubung

Anschließend erfolgt eine Vorabscheidung (Luft aus dem Mühlenraum, sowie das Leichtgut des Windsichters) mittels Zyklons (

Abbildung 5, grün). Im Zyklon wird die Luft tangential eingeführt und strömt vorgegeben durch die Geometrie in einer Drehbewegung von oben nach unten durch das Aggregat. Bestandteile höherer Dichte werden durch den Einfluss der Zentrifugalkraft nach außen gedrängt. Durch die Materialbewegung an der Wandung des Zyklons entsteht außen ein abwärts gerichteter Luftstrudel. In der Mitte des Zyklons bildet sich infolgedessen eine entgegengesetzte, aufwärtsgerichtete Luftspirale, in dem feine leichte Partikel nach oben strömen und mit einem Tauchrohr abgeführt werden. Über eine Zellenradschleuse können die schweren Bestandteile als sogenannte Shredderleichtfraktion (SLF) ausgetragen werden.



Abbildung 5: Ansicht einer konventionellen Nassentstaubung (Zyklon-grün; Venturidüse-hellgrün; Tropfenabscheider-blau)¹²

¹² Quelle: Venti Oelde GmbH

Die abgeführte staubbeladene Luft gelangt zur Nachreinigung in einen Nasswäscher (hellgrün), in dem der Luftstrom zwangsweise durch einen fein verdüsten Wassernebel geführt wird. Dadurch binden sich die Staubpartikel an die Wassertropfen. Das entstandene Wasser-Staub-Gemisch wird in einen Tropfenabscheider (dunkelblau) und anschließend in ein Sammelbecken (hellblau) geleitet, indem sich diese beruhigen kann. Durch den Einfluss der Schwerkraft sinken die Schmutzpartikel ab und sedimentieren am Boden. Über Kratzförderer wird das Sediment kontinuierlich aus dem Becken entfernt und zur SLF ausgetragen. Das Wasser kann weitestgehend im Kreis geführt werden. Die vom Staub gereinigte Luft wird durch die Rohrleitungen (gelb) zum Radialventilator geführt und über einen Kamin in die Umwelt abgegeben.

Die Verwendung der Nasswäscher hat sich vor allem durch die robuste Bauweise und dem – für damalige Verhältnisse – effektivem Abscheideprinzip durchgesetzt. Nachteilig ist, dass diese Reinigung mit einem hohen Energieaufwand gemessen am Abscheidegrad verbunden ist. Verursacht wird dieser Aufwand durch die aufwendige Wasseraufbereitung und die Erzeugung der Luftströmungen mit großen Ventilatoren durch die verzweigten Rohrleitungen. Durch Verdunstungen während des Prozesses ist zusätzlich ein regelmäßiger Einsatz von frischem Wasser nötig.

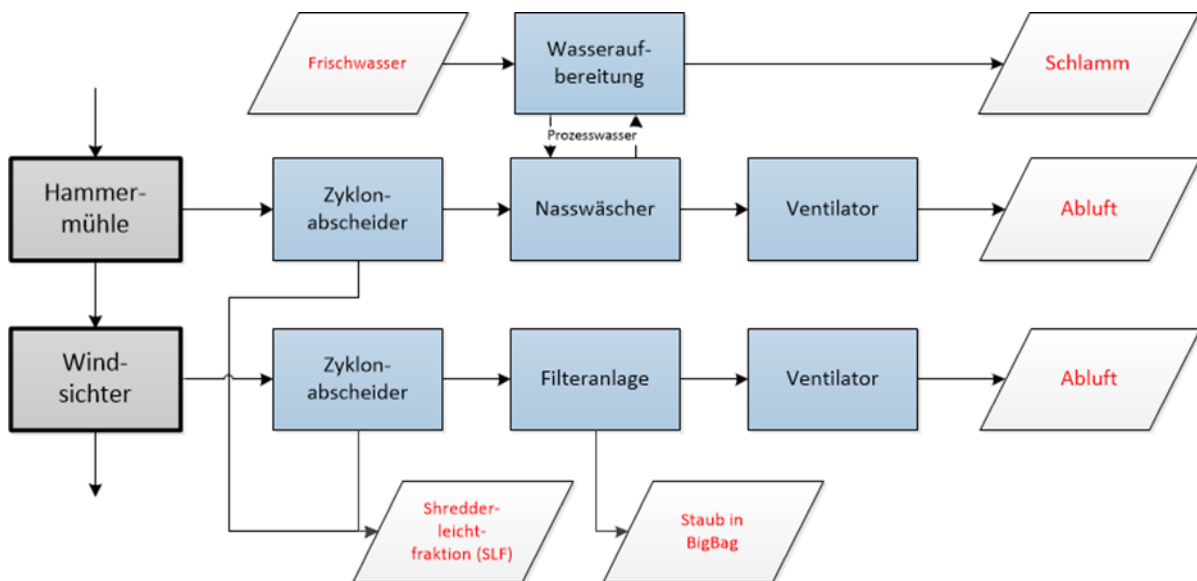


Abbildung 6: Anlagenfließbild einer weiterentwickelten, zweistufigen Nassentstaubung

Die Weiterentwicklung des einstufigen Systems stellt das zweistufige dar. Hier werden die Abluftströme von Mühle und Sichter getrennt gereinigt. Abbildung 6 zeigt das Fließbild eines klassischen zweistufigen Systems. Dabei vollzieht sich die Mühlenentstaubung analog zum einstufigen System. Einzig die Sichterentstaubung ist trocken ausgeführt und wird mittels Schlauchfilter realisiert.

1.2.2 Materialspezifische Vorgänge

Für den Aufschluss des Materials wird im Mühlenraum durch die drehende Bewegung des Rotors, Energie eingebracht. Entsprechend werden durch Reibung und erzeugte Wärme sowohl feste Partikel (Staubpartikel) als auch gasförmige Bestandteile (flüchtiges Öl, Benzin, etc.) freigesetzt. Im Bereich der Staubpartikel wird durch die Hämmer des Rotors Abrieb von Metallen, Lacken, Kunststoffen, etc. erzeugt. Infolge der durch Reibung erzeugten Wärme, werden teilweise Wasser, Fette, Öle, etc. vom festen/pastösen in den gasförmigen Aggregatzustand überführt. Durch eine gleichmäßige und dadurch belastungsarme Betriebsweise der Mühle, sollen der Energieeintrag optimiert und die entstehende Reibungswärme geringgehalten werden. Infolgedessen reduziert sich zusätzlich die Freisetzung von Staub und Schadstoffen aus dem Material.



Abbildung 7: Energetische Vorgänge in der Mühle

2. Vorhabenumsetzung

Aus den angeführten Punkten unter Kapitel 1.2 entstand die Zielsetzung, eine Abluftreinigungstechnik einzusetzen, die in Verbindung mit einer geregelten Betriebsweise des Shredders, mehrheitlich die auftretenden Einflussgrößen in einen regelbaren Zustand versetzt. Dabei lag der Fokus auf der Abluftreinigung der Mühlenentstaubung der Shredderanlage, da der Abluftstrom der Sichterentstaubung bereits mit vorhandener Technik unter Einhaltung der zukünftigen Grenzwerte gereinigt werden kann. Hierfür wurde die alte Shredderanlage vollständig zurück gebaut und durch eine neue Anlage ersetzt.

2.1. Ziel des Vorhabens

Vorrangiges Ziel des Projektes war es eine effiziente Abluftreinigung zu errichten und zu betreiben, die im Wesentlichen folgenden Verbesserungen beinhaltet:

- Kein Verbrauch von Frischwasser, durch trockene Aufbereitung der Abluft
- Höhere Energieeffizienz der Gesamtanlage, durch strömungsoptimierte Rohrleitungen und intelligente Steuerung mit einer Vielzahl von unterschiedlichen Sensoren
- Reduzierung von Lärm, durch Kapselung der Anlagenteile und Aggregate
- Reduzierung diffuser Emissionen, durch die vollständige Kapselung aller Bereiche und Aggregate sowie der Abdeckung von festgelegten Bandanlagen und Absaugung von Abwurf- und Übergabestellen
- Reduzierung der Inhaltsstoffe in der Abluft, durch den kombinierten Einsatz von Vorabscheidung (Zyklon + Grobgutabscheider) und moderner Feinabscheidung (Schlauchfilter+Additivdosierung)

Die Zielsetzung der Emissionsreduzierung ergab sich in der Zeit des Projektantrages aus dem Entwurf der TA-Luft, die abgeleitete Inhalte aus den BAT AEL Vorgaben des BREF enthielt. Weiterhin wurden im Genehmigungsverfahren (vgl. Kapitel 2.4) Grenzwerte formuliert, die teilweise unterhalb denen der TA Luft 2022 liegen. Zur Vollständigkeit sind alle hier nochmals aufgeführt. Ziel war es, die Vorgaben der TA-Luft zu unterschreiten. Ziel des Projekts war es daher nicht nur, die Vorgaben der TA Luft durch eine trockene Entstaubungstechnik einzuhalten, sondern diese sogar deutlich zu unterschreiten und damit die Aufbereitungstechnik auf das nächst höhere Level zu führen. Der Grenzwert für die kritischen Emissionen an C-Gesamt wurden daher auf 30 statt 50 m/Nm³ herabgestuft. Wie uns diese bahnbrechende Zielerreichung eindrucksvoll gelungen ist, schildern wir detailliert auf den Folgeseiten unseres Abschlussberichts.

Tabelle 2: Grenzwerte aus dem Projektantrag¹³

Parameter/Messgröße	Grenzwert
○ Staub (Dust)	5 mg/Nm ³ für Schlauchfilter 10 mg/Nm ³ für Nassentstaubung
○ TVOC (total volatile organic compounds)	30 mg/Nm ³ (→ Vorgabe TA Luft: 50)
○ PBDD/F (bromierte Dioxine und Furane)	0,1 ng/Nm ³
○ PCDD/F (chlorierte Dioxine und Furane)	0,1 ng/Nm ³
○ DİPCB (Dioxin ähnliche PCB's)	0,1 ng/Nm ³
○ Hq (Quecksilber)	0,05 mg/Nm ³
○ Diffuse Emissionen	Kein Grenzwert

Auf Basis der Novellierung der TA-Luft 2021 als Leitregelwerk für Abluftemissionen in Deutschland wurde ein eigenes Kapitel für Shredderanlagen (5.4.8.9.1) erstellt. Bezogen auf die Luftschadstoffparameter müssen die nachfolgenden Grenzwerte eingehalten werden.

Gemäß TA-Luft 2021 sind die Luftschadstoffe für bromierte Dioxine und Furane ohne Grenzwert innerhalb eines verpflichtenden Messprogrammes zur Ermittlung im Abgasstrom aufgenommen. Weiterhin ist ein Summenparameter aus Dioxinen, Furanen und dioxinähnlichen PCB gebildet worden, der auf (0,1 ng/Nm³) zuzustreben ist.

 Tabelle 3: Grenzwerte der TA-Luft 2021¹⁴

Parameter/Messgröße	Grenzwert
○ Staub (Dust)	5 mg/Nm ³ für Schlauchfilter 10 mg/Nm ³ für Nassentstaubung
○ TVOC	50 mg/Nm ³
○ PBDD/F	0,1 ng/Nm ³
○ PCDD/F	0,1 ng/Nm ³
○ dl-PCB	0,1 ng/Nm ³
○ Summe Dioxine, Furane, PCB	0,1 ng/Nm ³
○ Hq	0,05 mg/Nm ³
○ Ti	0,05 mg/Nm ³
○ Summe Pb+Co+Ni+Se+Te	0,5 mg/Nm ³
○ Summe Sb, Cr, Cu, Mn, V, Sn, CN, F	1,0 mg/Nm ³
○ Summe As, B(a)P, Cd, Co (wasserl.) CrVI	0,05 mg/Nm ³
○ Benzol	1,0 mg/Nm ³
○ Diffuse Emissionen	Kein Grenzwert
○ Asbestfasern	10.000 Fasern/m ³

¹³ Quelle: Ebbing, J. (2017, 29. November): 171129_BVT- Merkblatt Abfallbehandlung Abschluss des Revisionsprozesses und wesentlicher Inhalt.pdf, BREF Document, Sevilla, Präsentationen im Fachgespräch vom 29.11.17, ifeu

¹⁴ Quelle: TA-Luft; Gemeinsames Ministerialblatt, 14. September 2021, S. 1050ff

○ Keramikfasern	15.000 Fasern/m ³
○ Mineralfasern	50.000 Fasern/m ³

2.2. Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

Die neue Shredderanlage entspricht in ihrer Grundausslegung der alten Anlage, wie die nachfolgende Tabelle zeigt. Andere technische Neuerungen, welche noch nicht weiter in vorherigen Kapiteln beschrieben wurden, sind nachfolgend erklärt.

Tabelle 4: Auslegungsdaten der Anlage

Kenndaten	Alt-Shredder mit Nass-Entstaubung	Neu-Shredder mit Trocken-Entstaubung
Installierte elektrische Leistung	1463,7 kW	1435,2 kW
Davon Hauptmotorleistung	920 kW	920 kW
Davon Entstaubung	393,5 kW	220,5 kW
Rotorgehäuse	1.750 x 2.600 mm	1.750 x 2.600 mm
Durchsatzleistung	40-60 t/h	40-60 t/h
Gesamtlänge der Anlage	65 m	75 m
Entstaubungsluftmenge	80.000 m ³ /h an Sichter & Mühle	45.000 m ³ /h an Mühle 43.000 m ³ /h an Sichter
Wasserverbrauch im Betrieb	1.850.200 l/a	0 l/a
Emissionen in der Abluft für		
Staub	20 mg/m ³	5 mg/m ³
C-Gesamt	50 mg/m ³	30 mg/m ³

2.2.1 Emissionen

- Ausführung Rohrleitungen: Alle Rohrleitungen der beiden Entstaubungssysteme wurden durch den Anlagenbauer strömungsoptimiert ausgelegt, wodurch sich der Energiebedarf der Ventilatoren reduzieren soll, oder es kann auf einen Ventilator kleinerer Bauart zurückgegriffen werden.
- Kapselung Bänder: Die sogenannten Staubbänder zwischen Zyklon/Grobgutabscheider und Siebanlage werden mit Abdeckungen ausgeführt, um Abwehungen zu unterbinden und diffuse Emissionen zu vermeiden. Auf dieser Förderstrecke sind die Rohrleitungen der Sichterentstaubung an mehrere Bandübergabestelle an diese Abdeckung angeschlossen. Die mit Staub beladenen Bänder sind damit vollständig von der Umwelt gekapselt.
- Absiebung der Mineralik: Aus der Leichtfraktion soll der Feinkornanteil klassiert und in eine geschlossene Lagerbox transportiert werden. Die Box kann mittels Radlader nach Öffnen des Schnellauftors geleert werden. Die Feinfraktion hat so bis zum Verlassen des Standorts nur minimalen Kontakt mit der Umwelt.
- Verladehalle: Die Verladung der restlichen Leichtfraktion erfolgt in einer geschlossenen Halle. Nachdem sich Verladebagger und LKW in der Halle befinden, werden die drei Hallentore geschlossen. Diffuse Emissionen werden auf ein Minimum reduziert.

2.2.2 Verbrauch von Ressourcen

- Nutzung von Roh- und Hilfsstoffen: Durch die Zugabe eines pulverähnlichen Zuschlagsstoffes (sog. Additiv) in die Rohrleitung der Mühlenstaubung soll die Abscheidung von Luftschadstoffen im Filter begünstigt werden. Das Additivgemisch kann in unterschiedlichen Mischungsverhältnissen aus Kalkhydrat (K), Aktivkohle (A) und Mineralstoff (M) geliefert werden. Der Anteil der Aktivkohle ist derzeit auf max. 30 Gew. % beschränkt. Grundsätzlich ist die Zusammensetzung frei wählbar. Das Additiv kann der Entstaubung über ein pneumatisches Förderungssystem geregelt zugeführt werden.
- Verbrauch von Wasser: In der neuen Konfiguration der Anlage gibt es keine kontinuierlichen Wasserverbräuche. Einzig die Löschwasser- und Bedüsungsanlage im Feuer- oder Brandfall werden mit Wasser betrieben. Da es sich dabei um einen außerplanmäßigen Betriebszustand handelt, wird dieser hier nicht berücksichtigt. Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass in der alten Shredderanlage ebenfalls Löschtechnik verbaut wurde und dessen Verbrauch ebenfalls nicht bilanziert wurde.

2.2.3 Verbrauch von Energie (Strom, Wärme, etc.)

- Elektrische Energie: Weiteres Ziel ist eine digitalisierte, intelligente energieeffiziente und autarke Steuerung der gesamten Anlage. Hierbei werden alle wesentlichen Einflussparameter erfasst:
 - Stromaufnahmen
 - Geschwindigkeiten / Drehzahl
 - Hydraulikdrücke und Position
 - Schwingungen
 - Fördermenge
 - Temperatur (Lager, Abluftstrom, Mühle, Material)
 - Wassereindüsung (in der Mühle)
 - Additivdosierleistung
 - Durchflusssensoren
 - Trübungssensoren

Die Daten werden ausgewertet und für die Überwachung und Steuerung des Aggregates verwendet. Die Verknüpfung der Parameter soll innerhalb der Logik und Produktionsprogrammen je Fraktion dafür sorgen, dass eine energieeffiziente Regelung von der Gesamtanlage erfolgt. Parallel können alle Mengenströme online bilanziert und ausgewertet werden. Die Abhängigkeiten sind der Matrix in Abbildung 8: Matrix Abhängigkeiten dargestellt. Abhängig von den eingesetzten Materialien sollen im Rahmen der getesteten bzw. erwarteten Schwankungsbreiten optimale Konfigurationen und Auslöseschwellen definiert und programmiert werden (Lastaufnahme steigt an bzw. Drehzahl am Hauptmotor fällt ab, Zuführung wird

- Fehlwürfe, Kanister, Hohlkörper, Druckbehälter, etc.
- Altfahrzeuge auf die ordnungsgemäße Demontage und Trockenlegung
- Nicht vorbehandelte Geräte oder Bauteile die dem ElektroG unterliegen
- Anlagen und Geräte die Asbest, KMF oder MF enthalten

Weiterhin wurden unterschiedliche metallische Stoffströme separat aufbereitet, um Rückschlüsse auf das Verhalten dieser ziehen zu können. Die entsprechenden Vorgaben sowie die Umsetzung intern wurden in entsprechenden Arbeitsanweisungen für den Bereich der Eingangskontrolle übernommen und festgelegt. Die Anweisungen werden jährlich geschult und die Wirksamkeit durch interne Audits kontrolliert.

Betrachtete Stoffströme:

- MBA/DSD: metallische Abfallströme aus der mechanischen Aufbereitung von Verpackungs- und Siedlungsabfall (inkl. Sperrabfälle) und Dosen; Metallgehalt > 70 % (davon 95 % Fe und 5 % NE), < 30% Kunststoffe (Folien, PET, etc.)
- Aluminium: metallische Abfallströme, die mechanisch oder manuell vorsortiert sind; Metallgehalt > 80 % (davon 10 % Fe und 90 % NE), < 20 % Shredderleichtfraktion (Schaumstoff, Kunststoff, Textilien, Holz, etc.)
- Kühlschrott: 100 % Stahlschrott aus der Produktion, sortenrein; reine Umformung
- Mischschrott/KVM: Sammel- und gewerbliche Stahlschrotte unvorbehandelt; Metallgehalt 75 % (davon 95 % Fe und 5 % NE), 10 % Mineralik / Glas / Rost, 15 % Shredderleichtfraktion
- Karossen: trockengelegte und vordemontierte Altfahrzeuge; durch unterschiedliche Entnahme von Ersatzteilen und hochwertigen Metallen (Aluminium) sehr variierende Zusammensetzung

Alle aufgeführten Prozentsätze sind circa Angaben und unterliegen Schwankungen bzw. Bandbreiten. Der den Stoffströmen zugrunde liegende Wassergehalt wurde vernachlässigt, da durch die offene Lagerung des Vor- und Fertigmaterials und weniger durch die Verarbeitung sich dieser ändert.

2.3.2 Technische Umsetzung

- Entstaubungstechnik: Im Vergleich zur vorherigen Luftreinigung der alten Shredderanlage erfolgt eine getrennte Behandlung der Luftmassenströme von Shredder- und Sichterentstaubung. Das hat den Vorteil, dass beide Systeme unabhängig voneinander dimensioniert und im Betrieb individuell auf ihre Aufgabe angesteuert werden können.

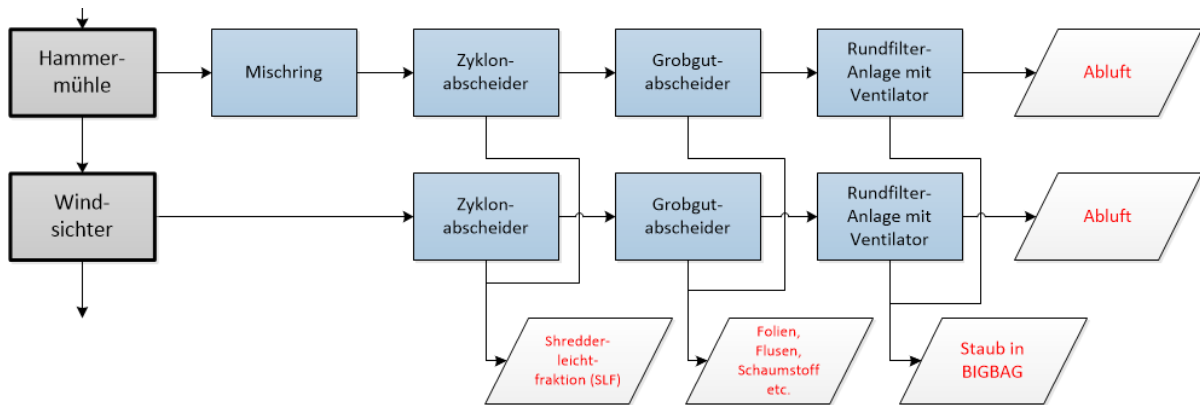


Abbildung 9: Anlagenfließbild einer trockenen Entstaubung

- Weiterhin wurde für die Mühlenentstaubung (Kapitel 1.2.1 Technische Ausgangssituation) aufgrund der Weiterentwicklung der Anlagentechniken kein Nasswäscher verwendet. Die Abluft wird über effiziente Saugrohrleitungen mit geringen Strömungsverlusten, die mit Druckentlastungsklappen versehen sind, um einen auftretenden Überdruck abzuschwächen bzw. kontrolliert abzuführen, geführt. Im nachfolgenden Zyklonabscheider wird das grobe Material vorabgeschieden und über eine Zellenradschleuse ausgetragen. Die vorgereinigte Luft gelangt nach dem Druckentlastungsschlot in die Grobgutabscheider. Hier wird wiederholt grobes Material wie z. B. Folien über eine rotierende Trommel aus Lochblechen abgeschieden. Der nachgeschaltete Rundfilter, welcher mit Schlauchfiltermedien ausgestattet ist, komplettiert die trockene Entstaubung. Die Luft kann diese passieren, um anschließend über Schalldämpfer an die Umwelt abgegeben zu werden, während alle Schmutzpartikel an den Filtern haften bleiben. Um die Saugleistung nicht zu reduzieren, wird die Abreinigung der Schmutzpartikel von den Schlauchfiltern des Rundfilters mit eigener Prozessluft betrieben. Eine externe Druckluftversorgung ist für die eigentliche Abreinigung nicht notwendig. Die Radialventilatoren, mit denen die Luftmassen in Bewegung gesetzt werden, sind im Rundfilter angeordnet. Eine separate Speiserohrleitung ist dadurch nicht notwendig, wodurch weitere Strömungsverluste vermieden werden.

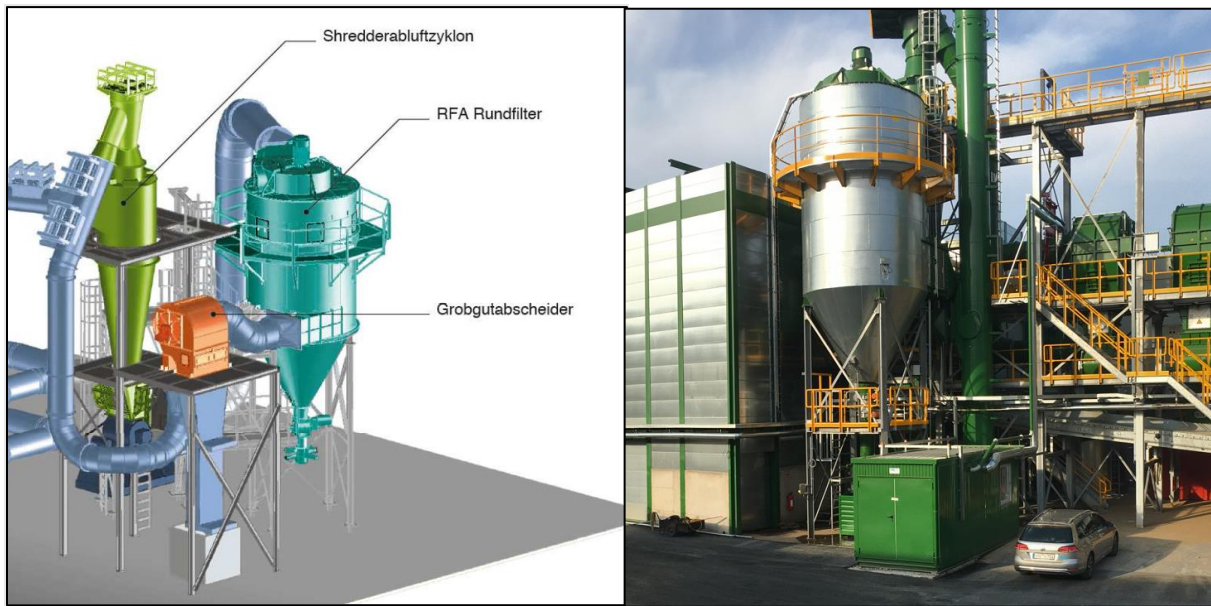


Abbildung 10: Ansicht einer Trockenentstaubung (3D-Konstruktion¹⁵/errichtete Anlage)

- Zugabe von Adsorbens: Zusätzlich zu den zuvor genannten Neuerungen an der Entstaubungstechnik, wurde eine Dosieranlage für Adsorbens installiert. Die Anlage hat eine Zuführleistung von 5-35 kg/h. Mit der Anlage ist es möglich verschiedene, pulverförmige Gemische über eine pneumatische Förderung der Entstaubung an einem gezielten Punkt zu zuführen. Die Dosieranlage setzt am Mischring an, wodurch die Verweilzeit des Additivs in der Entstaubung maximal ist. Begünstigt durch die vergleichsweise höheren Temperaturen unmittelbar nach der Mühle, werden die Reaktionsbedingungen von Additiv mit Luftschadstoffen weiterhin positiv beeinflusst. Das Additiv besteht aus drei verschiedenen Inhaltsstoffen, die nach Auskunft der Hersteller Einflüsse auf verschiedene Parameter im Abgas haben, wie z.B.:
 - Kalkhydrat: Schwefelverbindungen, Halogenwasserstoffverbindungen
 - Aktivkohle: Schwermetalle, Organische Verbindungen z.B. Benzol
 - mineralische Inhaltstoff: Dioxine, Furane
- Installierte elektrische Anlagenleistung: Die neue Shredderanlage ist von der reinen Produktionsleistung annähernd identisch ausgelegt. Aufgrund des Fortschrittes der Technik und dem Zweck der energieeffizienten Regelung wurden bei den Treibrollen elektrische Antriebe verwendet, die eine Leistung von je 22 kW aufweisen (2x obere Treibrolle, 1x untere Treibrolle). Die frequenzgeregelten Antriebe rufen jedoch nur in den seltensten Fällen die volle Leistung ab. Eine weitere Neuerung in der Aufbereitungstechnik ist die Verwendung eines sogenannten Umluftventilators (75 kW), der Luft in die Sichtertrummel einbläst und auf der gegenüberliegenden Seite absaugt. Diese Luftmassen werden im Kreislauf gehalten. Ein Teil dieser Luftmenge wird kontinuierlich der Sichterentstaubung zugeführt.

¹⁵ Quelle: Venti Oelde

Tabelle 5: Installierte elektrische Leistung [in kW] in der Anlagentechnik¹⁶

Angaben in kW	Alt-Shredder mit Nass-Entstaubung	Neu-Shredder mit Trocken-Entstaubung
Bereich Aufbereitung	1.070,2	1.214,7
Plattenzuführband	30	30
Treibrollen	hydraulisch	66
Hammermühle	920	920
Hydraulikaggregat	30	30
Förderrinne Mühle	15	15
Band 1	5,5	7,5
Sichter	11	11
Ventilator Sichter	/	75
Rinne Sichter	8	8
Magnettrommel & Gleichrichter	12,7	12,7
FE-Sortierband	5,5	5,5
Schwenkband	11,5	11,5
NE-Sortierband	5,5	5,5
SLF-Bänder (Sammelband & Austrag)	11	12,5
Schmutzbänder	4,5	4,5

- Die größeren Unterschiede finden sich in der Entstaubung. Im Vergleich zur Nass-Entstaubung konnten bei der Trocken-Entstaubung die nachfolgenden aufgeführten Antriebsleistungen installiert werden. Die großen Antriebe der Ventilatoren sind auch hier frequenzgeregelt.

 Tabelle 6: Installierte elektrische Leistung in der Entstaubung¹⁶

Angaben in kW	Alt-Shredder mit Nass-Entstaubung	Neu-Shredder mit Trocken-Entstaubung
Bereich Entstaubung in Summe	393,5	220,5
Nasswäscher	74	/
Wasseraufbereitung	180	/
Abluftventilator	132	/
Zyklon 1	5,5	3,5
Grobgutabscheider 1	/	5,0
Filter mit Ventilator 1	/	110
Zyklon 2	/	3,5
Grobgutabscheider 2	/	5,0
Filter mit Ventilator 2	/	93,5

- Explosionsschutz: Zusätzlich wird durch die rein trocken arbeitende Abluftreinigung die Gefahr einer Verpuffung oder Staubexplosion im Bereich der Schlauchfilteranlage existent. Im ursprünglichen Ansatz war ein Zündring (Funkengeber) zur kontrollierten

¹⁶ Ohne Additivdosierung, ohne Brandschutzsystem

„Zündung“ eventuelle auftretender Gasgemische vorgesehen. Problematisch zeigte sich hier der im weiteren Verlauf der Abluftreinigung verbaute Zyklon und dessen Austrag die Zellenradschleuse, sowie die Zellenradschleuse des Filters. Die Zellenradschleuse des Zyklons bzw. Grobgutabscheiders konnte nicht in dieser Funktionsweise explosionsicher ausgeführt werden bzw. durch ein anderes Austragssystem ersetzt werden. Dies war für die CE-Zertifizierung zwingend erforderlich. Zusätzlich vertrat die Zertifizierungsstelle die Ansicht, dass alle Komponenten der Abluftreinigung mit erhöhtem Explosionsschutz auszuführen sind, da es sich um eine gezielte Herbeiführung von Verpuffungen / Explosionen bzw. zünden von möglichen explosiven Gemischen handelte. Der Einwand, dass ein zündfähiges Gemisch nur zufällig vorhanden sein kein, war nicht einschlägig. Daher wurde der Zündring durch eine Einblasvorrichtung – sogenannten Mischring (vgl. Abbildung 11: Mischring im eingebauten Zustand) - für Frischluft ersetzt, um ein zündfähiges Gemisch durch Zufuhr von Frischluft direkt „abzumagern“. Grundsätzlich liegt dieser Lösung zugrunde, das ideale oder zündfähige stöchiometrische Verhältnis immer auf die magere Seite zu bekommen, um durch einen dauerhaften Luft- bzw. Sauerstoffüberschuss keine zündfähigen Gemische entstehen zu lassen.



Abbildung 11: Mischring im eingebauten Zustand

- Vermeidung diffuser Emissionen: Alle Förderbänder mit Leichtfraktion zwischen den Vorabscheidern und dem SLF-Sieb verfügen über eine Abdeckung, um diffuse Emissionen zu verringern (Abbildung 12). Die Absiebung des mineralischen Anteils der Leichtfraktion vermeidet Verschleppungen und Abwehungen bei der Verladung in der SLF-Halle. Zusätzlich dazu bleiben die Rolltore während der Verladung verschlossen (Abbildung 12).



Abbildung 12: Emissionsschutz durch geschlossene Übergabestellen mit Absaugung, Förderbandabdeckungen und Verladehalle mit Rolltoren

- Lärmschutz: Für die Shredderanlagen wurde eine umfangreiche Kapselung relevanter Maschinen und Aggregate vorgesehen. Im Bereich der Mühle ist der Materialabwurf vom Plattenzuführband in diese sowie der Austrag des zerkleinerten Materials auf die Rinne und das Abzugsband von einer Schallschutzeinhausung umgeben. Gleiche Vorgehensweise besteht im Bereich des Sichters, wo ebenfalls alle Abwurf- und Übergabestellen innerhalb der Schallschutzeinhausung liegen.



Abbildung 13: Schallschutzeinhausung an Mühle und Sichter

2.3.3 Regelungstechnisch

- Programme: Die zu verarbeitenden Fraktionen an der Shredderanlage wurden in drei Kategorien zusammengefasst, wobei für jede ein Programm mit spezifischen Anlageneinstellungen hinterlegt worden ist. Pro Fraktion kann das entsprechende Programm aktiviert werden, wodurch sich die Anlage automatisch gemäß Programm einstellt. Zum Beispiel wird bei der Verarbeitung von Aluminiumschrotten eine geringe Absaugleistung durch die beiden Radialventilatoren benötigt. Die Ventilatorfrequenz wird heruntergeregelt, wodurch Strom bzw. Energie eingespart wird. Bei der Fraktion

MBA ist es notwendig das Oberrost vollständig zu öffnen, was bei Kühlschrott wiederum nicht notwendig ist.

Einstellwerte FU Produkte:									
	MBA:	ALU:	Kühl:	Sonstige:	Wartung:		Öffnen	GW Öffnen	Schliessen
Sichttrommel	+50	+90	+80	+80	+0	Elektr. Ohr	+60	+30	+40
FE-Sortierband	+60	+40	+40	+50	+40	HM Strom	+60	+30	+40
NE-Sortierband	+40	+60	+50	+50	+0				
RFA 400	+90	+80	+80	+80	+0				
Ventilator Sichter	+70	+55	+60	+60	+0				
RFA 700	+100	+90	+90	+85	+0				
Oberrost	+100	+10	+0	+100					
Auswurfür	+20	+15	+15	+30					

Abbildung 14: Einstellung je Fraktion im SPS-Programm

- Autonomer Modus: Der Anlagenfahrer kann die Zuführung über einen Joystick manuell steuern oder verwendet den autonomen und geregelten Modus. Dabei sind die Freigaben der Treibrollen in Abhängigkeit zur Belastung des Hauptmotors (=Drehzahl) regelt. Der Hauptmotor versucht permanent seine Leerlaufdrehzahl von 600 rpm zu erreichen und ruft dazu unter Last mehr Energie ab. Diese Lastspitzen werden durch die kontinuierliche und geregelte Zuführung in die Mühle reduziert. Die Regelung erfolgt über die Unter- bzw. Überschreitung einer festgelegten Drehzahl, die den optimalen Arbeitspunkt des Shredder darstellt. Die Steuerung ist so in der Lage einen autonomen Betrieb aufrechtzuerhalten, bis dieser vom Anlagenfahrer beendet wird oder eine Störung eintritt, die die Zuführung unterbricht.
Eine dynamische Programmierung, die über den Durchsatz die Abluftreinigung regelt, konnte nicht erstellt werden. Dies liegt im Wesentlichen an der Trägheit der Regelungssysteme.
- Echtzeit-Brandschutzsystem: Es wurde eine innovative Funkenlöschanlage im Bereich des Schlauchfilters vorgesehen. Da im Bereich von Shredderanlagen bisher keine dieser Anlagen benötigt wurden, da Schlauchfilter nur für die Sichterentstaubung eingesetzt wurden, gehört dies ebenfalls zur Umsetzung von Maßnahmen, die über den Stand der Technik hinausgehen und einen sicheren Betrieb der Anlage ermöglichen. Die GreCon-Funkenlöschanlage sowie der Rosenbauer-Löschwerfer in der SLF-Halle dienen dem präventiven Brandschutz. Über Temperatursensoren, Funkenmelder und NIR-Kameras werden die Detektionsbereiche in Echtzeit überwacht. Wobei nur die GreCon-Anlage in die Anlagensteuerung eingebunden ist. Im Falle einer Funkenerkennung wird Wasser über Löschdüsen in den entsprechenden Löschbereich geleitet, um diese zu beseitigen. Bei einer Temperaturüberschreitung wird unverzüglich die Entstaubung ausgeschaltet, die Zuführung in die Mühle

unterbrochen und es wird eine Löschung mit Wasser im Filter durchgeführt. Die STS-CO²-Löschanlage im Filter der Mühle soll einen bereits vorhandenen Brand, der nicht vermieden werden konnte, letztendlich mit CO² ersticken.



Abbildung 15: Brandschutzsysteme GreCon, STS und Rosenbauer

2.4. Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Im Rahmen der Änderungsgenehmigung nach §15, 4. BImSchV für die gesamte Shredderanlage wurden neben den umweltrelevanten technischen Maßnahmen, auch Auflagen formuliert, die sich mit dem Bauwerk und der Infrastruktur der neuen Anlage befassen. Daher gehen wir im Folgenden nur auf Nebenbestimmungen ein, die sich auf die Anforderungen im Betrieb der Anlage beziehen und über das bereits definierte Maß der einschlägigen Vorschriften (vgl. Zitat aus Nebenbestimmungen) hinausgehen.

„Die Errichtung und der Betrieb der Anlagen haben nach dem “Stand der Technik“ zu erfolgen. Soweit nachfolgend nichts anderes bestimmt wird, sind die TA-Luft, TA-Lärm und die einschlägigen Vorschriften (DIN, EN, VDE etc.) und sonstigen technischen Vorschriften und Regelwerke (TRwS, etc.) sowie die einschlägigen Rechtsvorschriften (LBauO, KrWG, WHG, AwSV, etc.) in der jeweils gültigen Fassung zu beachten.“

2.4.1 Annahme und Lagerung des Vormaterials

- Die Lagerhöhen von Shreddervormaterial und Shredderfertigmateriale dürfen 8,0 m nicht überschreiten. Ein Befahren der Schrotthaufen mit Arbeitsgeräten (fahrbaren Kranen u. Baggern) ist unzulässig.
- Bei Anlieferung der Abfälle ist eine Annahmekontrolle durchzuführen. Diese umfasst eine Mengenermittlung, Überprüfung des Abfallschlüssels und Sichtkontrollen. Bei der Sichtkontrolle ist insbesondere zu überprüfen, ob in den als nicht gefährlich deklarierten Abfällen keine gefährlichen Bestandteile (z.B. gefährliche Mineralfaserabfälle wie Asbest oder KMF, Altholz A4), zu hohe oder nicht abtrennbare Störstoffanteile oder sonstige für die Anlage nicht zugelassene Abfälle enthalten sind. Nicht zugelassene Abfälle sind zurückzuweisen, die Zurückweisung ist im Betriebstagebuch zu dokumentieren. Ist eine Zurückweisung nicht zugelassener Abfälle im Einzelfall nicht sinnvoll, sind die Abfälle ordnungsgemäß separat zu lagern

und die weitere Vorgehensweise unverzüglich mit der zuständigen Behörde abzustimmen.

- Zur Behandlung in der Shredderanlage dürfen nur Elektro- bzw. Elektronikaltgeräte angenommen werden, die entsprechend den Vorschriften des ElektroG zuvor in einer Erstbehandlungsanlage vorbehandelt und dabei schadstoffhaltige Bauteile bzw. Bestandteile entfernt wurden. Es ist zu beachten, dass gemäß § 12 ElektroG die Erfassung bzw. Rücknahme von Altgeräten aus privaten Haushalten nur von öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern, Vertreibern sowie Herstellern bzw. deren Beauftragten vorgenommen werden darf.

→ Alle aufgeführten Maßnahmen wurden in entsprechendem Wortlaut in die internen Arbeitsanweisungen des integrierten Managementsystems (Umwelt, Energie, Qualität, Arbeitssicherheit) übernommen.

2.4.2 Betrieb der Anlage

- Die Shredderanlage darf werktäglich (montags bis samstags) in der Zeit von 6.00 – 22.00 Uhr betrieben werden.

→ Alle aufgeführten Maßnahmen wurden in entsprechendem Wortlaut in die internen Arbeitsanweisungen des integrierten Managementsystems (Umwelt, Energie, Qualität, Arbeitssicherheit) übernommen.

2.4.3 Emissionen

- Alle schalltechnischen Maßnahmen des Berichts zur „Schalltechnischen Untersuchung zum geplanten Austausch der Shredderanlage der Firma Theo Steil GmbH in Trier“ der Kramer Schalltechnik GmbH (Projekt-Nr.: 17 01 086/03 vom Februar 2020) müssen vor Inbetriebnahme umgesetzt sein. Die genannten betrieblichen Maßnahmen sind einzuhalten. Hierzu gehören auch die Maßnahmen, welche lediglich vorgeschlagen oder empfohlen werden. Vor der Inbetriebnahme der Anlage ist von einem Sachverständigen (z.B. vom Verfasser der Schalltechnischen Untersuchung) eine Bestätigung vorzulegen, dass alle Maßnahmen der Schalltechnischen Untersuchung umgesetzt wurden und der SGD Nord, Ref. 31, vorgelegt wurden.
- Durch Messungen einer nach § 29b in Verbindung mit § 26 des BImSchG bekannt gegebenen Stelle sind innerhalb von 6 Monaten nach Inbetriebnahme der Anlage die Emissionen der in Nrn. 3.4.2.4, 3.4.2.5, 3.4.2.6 genannten Stoffe, für die in diesem Bescheid Emissionsbegrenzungen festgelegt sind, feststellen zu lassen.

Tabelle 7: Grenzwerte aus der Genehmigung

NB	Parameter/Messgröße	Massenkonzentration	Massenstrom
3.4.2.4	Staub	5 mg/m ³	/
3.4.2.4	Organischen Stoffen (Gesamt-C / TVOC)	30 mg/m ³	/
3.4.2.5	a. Summe As, B(a)P, Cd, Co, CrVI	0,05 mg/m ³	0,15 g/h
3.4.2.5	b. Benzol	1 mg/m ³	2,5 g/h
3.4.2.5	c. Asbestfaser	10000 Fasern/m ³	/
3.4.2.5	c. Keramikfasern	15000 Fasern/m ³	/
3.4.2.5	c. Mineralfaser	50000 Fasern/m ³	/
3.4.2.5	d. PCDD/F	0,1 ng/m	0,15 g/h
3.4.2.6	a. Summe Klasse I Hg, Tl	0,01 mg/m ³	0,25 g/h
3.4.2.6	b. Summe Klasse II Pb, Co, Ni, Se, Te	0,5 mg/m ³	2,5 g/h
3.4.2.6	c. Summe Klasse III Sb, Cr, Cu, Mn, V, Sn, CN, F	1,0 mg/m ³	5,0 g/h
3.4.2.6	Summe Klasse I - III	1,0 mg/m ³	/

- Die Emissionsmessungen sind regelmäßig wiederkehrend für die Parameter der Nebenbestimmung Nrn.:
 - 3.4.2.4: alle 6 Monate
 - 3.4.2.5 a) und d) sowie 3.4.2.6 a), b) und c): jährlich
 - 3.4.2.5 b) und c): alle 3 Jahre

zu wiederholen. Die Wiederholungsfrist beginnt nach Durchführung der letzten Emissionsmessung. Die Ermittlungen der Emissionen luftfremder Stoffe sind grundsätzlich bei den für den Auswurf ungünstigsten Verhältnissen der Anlage (Volllast) durchzuführen. Zwingen schwerwiegende betriebliche Umstände dazu, die Feststellungen unter anderen Bedingungen durchzuführen, sind die Verhältnisse bei höchster Dauerleistung und ungünstigsten Bedingungen abzuschätzen.

- Die im Abgas der Abluftkamine (Quellen Nr. 9 und 10) der Shredderanlage enthaltenen Emissionen der nachstehend genannten Stoffe dürfen die Massenkonzentrationen im Normzustand (273 K, 101,3 kPa) nach Abzug des Feuchtegehaltes an Wasserdampf nicht überschreiten. Die Luftemissionsgrenzwerte sind nachfolgend tabellarisch zusammengefasst.

→ Die behördlich vorgeschriebenen Messungen wurden bis zum heutigen Zeitpunkt fristgerecht durchgeführt und die Messberichte liegen vor.

2.4.4 Brandschutz

- Alle Maßnahmen des Brandschutzkonzepts, BV-Nr.: 31 / 2018, Index D vom 15.01.2021 vom Brandschutzsachverständigenbüro Wende müssen vor Inbetriebnahme ausgeführt sein bzw. sind während des Betriebes zu beachten. Hierzu gehören neben den baulichen auch die betrieblichen und organisatorischen Maßnahmen.
- Vor Inbetriebnahme muss von einem Sachverständigen bestätigt werden, dass alle Vorgaben des Brandschutzkonzeptes umgesetzt sind. Die Bestätigung ist der SGD Nord,

Ref. 31 bei der Abnahme der Maßnahme gem. Nr. 2.4.1 vorzulegen.

- Durch geeignete Frostschutzmaßnahmen ist sicher zu stellen, dass eine ganzjährige Nutzungsmöglichkeit des oberirdischen Löschwassertanks (siehe Kapitel 3.3 des Brandschutzkonzepts vom 15.01.2021) gewährleistet ist.

→ Alle Löschanlagen sind frostgeschützt ausgeführt, sodass ein permanenter Betrieb der Anlagen gewährleistet ist. Weiter Informationen siehe Kapitel 2.3.3 Regelungstechnisch, Absatz Brandschutz

2.5. Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

2.5.1 Materialströme

Alle wesentlichen Materialströme werden über vier Förderbandwaagen erfasst. Die Waagen sind permanent mit der Anlage in Betrieb und erfassen die Massenströme in Echtzeit. Die Waagen befinden sich an vier Stellen in der Anlage:

- Mühlenabzugsband
- SLF-Band
- NE-Sortierband
- FE-Sortierband

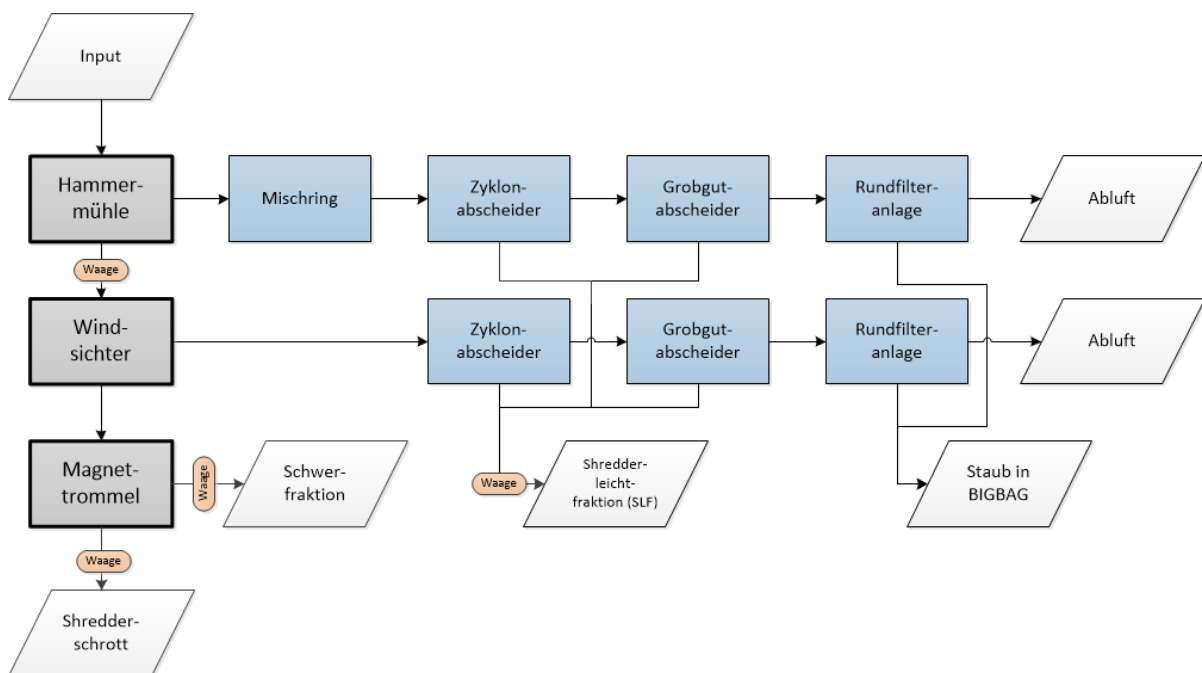


Abbildung 16: Übersicht Massenstrommessung über Bandwaagen

Die Produktionsleistung wird als Differenz der Mengenzähler bestimmt und in die Shredder-Produktionsberichte eingetragen. Auch eingetragen wird die Betriebszeit der Anlage sowie Unterbrechungen durch Störungen und die Störgründe.

Andere kleinere Stoffströme wie der Staubaustrag der beiden Filter in Container werden in regelmäßigen Abständen vom Bedienpersonal mit Bodenwaagen erfasst und ebenfalls in den Tagesbericht aufgenommen. Die Berichte werden über die Abteilung Kostenrechnung ins SAP-

System gebucht. Dort stehen die Berichte über eine entsprechende Zugangsberechtigung für Auswertungen zur Verfügung. Die entsprechenden BDE-Daten zum Messprogramm finden sich im Anhang 1_BDE Daten Shredder je Messtag.

Der Verbrauch an zusätzlichem Additiv ist über die Dosierleistung der Anlage bekannt. Die Leistung wird Frequenzumrichter (15 – 100 % entspricht 5 – 35 kg/h) eingestellt.

2.5.2 Energieströme

Die Energieströme (Druckluft & Strom) werden über installierte elektrische Messgeräte erfasst. Sie erfassen in Echtzeit den Durchfluss bzw. den Verbrauch und speichern diesen in eine Cloud. Nach Bedarf können die Daten über eine Browser-Anwendung abgerufen werden. Die entsprechenden Daten finden sich im Anhang 2_Energieverbräuche Shredder.

2.6. Konzeption und Durchführung des Messprogramms

Für die Messungen wurde auf den Dienst des zertifizierten Messinstituts Müller-BBM Industry Solutions GmbH¹⁷ zurückgegriffen, welches auch die wiederkehrenden Emissionsmessungen an der alten Shredderanlage durchführt. Müller-BBM ist mit über 300 hochqualifizierten Mitarbeitenden eine der führenden Ingenieurgesellschaften für Beratungsleistungen, Prüfungen und Planungen in allen Bereichen der Akustik und des Umweltschutzes.



Abbildung 17: Messgeräteaufbau von MBBM

Es wurden zunächst Vergleichsmessungen an der alten Shredderanlage im Mai/Juni 2021 für die fünf verschiedenen Fraktionen durchgeführt. Dabei wurden bis auf den Messwert „PBDD/F“ alle Parameter aus dem Antrag berücksichtigt. Der fehlende Messwert wurde nachträglich im Rohgas der neuen Shredderanlage gemessen und der Erfolgsbewertung in Tabelle 8 hinzugefügt. Weitere Informationen finden sich in den Ergebnisdarstellungen im Anhang 3_Messung je Fraktion_1-5.

¹⁷ <https://www.muellerbbm.de/startseite/>, Stand: 24.03.2023

Tabelle 8: Messergebnisse alter Shredder (Erfolgsbewertung)

Parameter		MBA/DSD	Aluminium-Blech	Kühlschrott	Karossern	KVM/Mischschrott
Benzol	1 mg/m ³	5	0	0	3	0
Staub	5 mg/m ³	18	11	7	14	4
C Gesamt	30 mg/m ³	38	14	9	68	19
Staubförmig Anorganik Klasse I Hg, Tl	0,01 mg/m ³	0,00	0,07	0,04	0,00	0,00
Staubförmig Anorganik Klasse II Pb, Co, Ni, Se, Te	0,5 mg/m ³	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00
Staubförmig Anorganik Klasse III Sb, Cr, Cu, Mn, V, Sn, CN, F	1 mg/m ³	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Summe Klasse I - III	1 mg/m ³	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00
Krebserzeugende Stoffe Klasse I As, B(a)P, Cd, Co, CrVI	0,05 mg/m ³	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
PCDD/F	0,1 ng/m ³	0,200	0,185	0,000	0,050	0,100
PBDD/F	0,1 ng/m ³	0,100	0,000	0,000	0,500	0,500
dI-PCB	0,1 ng/m ³	0,082	0,094	0,022	0,068	0,087
Asbestfaser	10000 Stk/m ³	9500	9533	7384	9505	7331
Keramikfasern	15000 Stk/m ³	7337	13464	7384	9505	7331
Mineralfaser	50000 Stk/m ³	13586	14999	15808	9505	12830

Legende:

Grün: Grenzwert eingehalten

Gelb: Grenzwert überschritten aber bei Massenstrom unkritisch

Rot: Grenzwert überschritten bei Massenstrom kritisch

Vergleichbare Messungen wurden ab Oktober 2021 an der neuen Shredderanlage durchgeführt. In den ersten Messungen wurden besonders der Parameter „C-Gesamt“ als kritisch identifiziert. Zum besseren Verständnis der Abhängigkeiten der Anlageneinstellungen bzw. Steuerung zu der C-Gesamt-Emissionen wurde zunächst ein Flammenionisationsdetektor (FID) von Müller BBM gemietet, welche Schadstoffe im Abgas des Shredders ermitteln kann. Aufgrund guter erster Ergebnisse wurde für eine längere Messperiode ein eigener FID angeschafft.¹⁸ Die Kurzanleitung als Übersicht zum FID-Messgerät befindet sich im Anhang [4_Kurzanleitung_FID_Messgerät].

Bei laufender Messung wurden verschiedene Anlageneinstellungen bei der Fraktion MBA ausprobiert. Diese Einstellungen betreffen die Durchsatzleistung, die Position von Rost und Tür, die Absaugleistung an der Mühle und die Dosierleistung an Additiv. Die Erkenntnisse dazu werden in Kapitel 3.1.1 These 1: Entstehung von Schadstoffen durch die Zerkleinerung vorgestellt.



Abbildung 18: Smart FID-Messgerät Fabrik Ersatec¹⁸ sowie Messbetrieb am Shredder

¹⁸ Die Verlängerung des Mietzeitraums stand in einem ungünstigen Verhältnis zur Anschaffung eines eigenen Gerätes (siehe eingereichte Rechnungen)

Aufgrund coronabedingter Lieferschwierigkeiten des eigens angeschafften FID-Messgeräts und der problematischen Terminierungen der Messtermine und dem nachgelagerten Erhalt der Messberichte, ist eine Verlängerung des Messzeitraums bis Ende Juni 2023 erforderlich gewesen. Die Ergebnisse werden im nachfolgenden Kapitel dargestellt.

3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung

Übersicht zu den untersuchten Thesen:

- These 1: Das Material aus der Mühle erreicht zu keinem Zeitpunkt und bei keiner der zu verarbeitenden Fraktionen eine ausreichend hohe Temperatur, dass VOC, Dioxine und Furane gebildet werden können.
- These 2: Durch den Mischring können zündfähige Gemische, die bereits im Zerkleinerungsraum des Shredders entstehen und dort ggfs. nicht zünden, durch Zuluft abgemagert werden, wodurch eine sichere Betriebsweise gewährleistet wird.
- These 3: Durch die trockene Entstaubung des Shredders, als Ersatz für eine konventionelle Nassentstaubung, wird über die Einflussgrößen Steuerungs- und Regeltechnik, Stoffstromkontrolle, neuste Filtertechnik und Zugabe von Adsorbentien eine hohe Abscheidegrade in Bezug auf die Luftschadstoffe erzielt.
- These 4: Die kontrollierte Betriebsweise der Anlage mit frequenzgeregelten Motoren der großen Antriebe sowie der Verzicht des Nasswäschers bewirkt eine Steigerung der Energieeffizienz sowie einen ressourcen-schonenden Betrieb der Shredderanlage.

3.1. Bewertung der Vorhabendurchführung

3.1.1 These 1: Entstehung von Schadstoffen durch die Zerkleinerung

Durch die bei der Zerkleinerung eingebrachte mechanische Energie entsteht Wärme, die hauptsächlich vom zerkleinerten Material aufgenommen wird. Über die Dauer einer zweischichtigen Produktion heizt sich dadurch auch der Rotorraum auf bis zu 90°C auf. Entgegen dem weit verbreiteten Glauben, dass sich innerhalb des Mühlenraumes durch hohe Temperaturen gasförmige Bestandteile wie TVOC, Dioxine, Furane und dl-PCB neu bilden, wird durch die Temperaturen des Materials im Output sowie die Temperaturen des Mühlenraumes diese These widerlegt.

Tabelle 9: Temperaturvergleich bei der Zerkleinerung

Fraktion	Umgebungs- temperatur [°C]	Temperatur in Mühle [°C]	Temperatur Abluft [°C]	Temperatur Material [°C]
MBA	15	50 – 75	15 – 30	40 – 45
Aluminium	15	45 – 75	20 – 30	55 – 85
Kühlschrott	15	75 – 90	50 – 60	100 – 140
Mischschrott/KVM	15	60 – 75	40 – 45	65 – 90
Karossen	15	55 – 75	40 – 45	65 – 85

Die Tabelle 9: Temperaturvergleich bei der Zerkleinerung zeigt, dass der Mühlenkörper am Ende eines Produktionstages Temperaturen in Abhängigkeit des verarbeitenden Stoffstroms von maximal 90°C besitzt. Die ist die Folge davon, dass das heißere Material (< 140°C) wesentlichen Kontakt mit den Verschleißwerkzeugen hat. Da das Material jedoch ausgetragen wird, wird so auch die Energie in Form von Wärme kontinuierlich abgeführt. Betrachtet man die verarbeiteten Fraktionen, zeigt sich, dass es eine starke Abhängigkeit vom Material zur

maximalen Temperatur gibt. Die höchsten Temperaturen entstehen bei der Erstellung von Kühlschrott. Hier wird reiner Stahlschrott definierter Güte zerkleinert und verkugelt. Durch die hohe Verweilzeit entstehen daher Temperaturen, die bei den anderen Fraktionen nicht erreicht werden. Das Material ist frei von Anhaftungen, wodurch die Abluft sich gesamtheitlich anders als bei den anderen Fraktionen darstellt. Im Regelbetrieb bei der Verarbeitung von Verbundmaterialien treten maximale Temperaturen von $< 75^{\circ}\text{C}$ in der Mühle auf.

Auch die gemessenen Temperaturen in der Abluft, bei einer Umgebungstemperatur zwischen 0°C und 20°C , übersteigen 45°C zu keinem Zeitpunkt. Selbst wenn der Kühleffekt durch niedrige Umgebungstemperaturen unberücksichtigt bleibt, können keine Temperaturen von 250-300 Grad Celsius entstehen. Dieses Temperaturfenster ist für die Bildung von Dioxinen und Furanen resp. dl-PCB zwingend erforderlich.

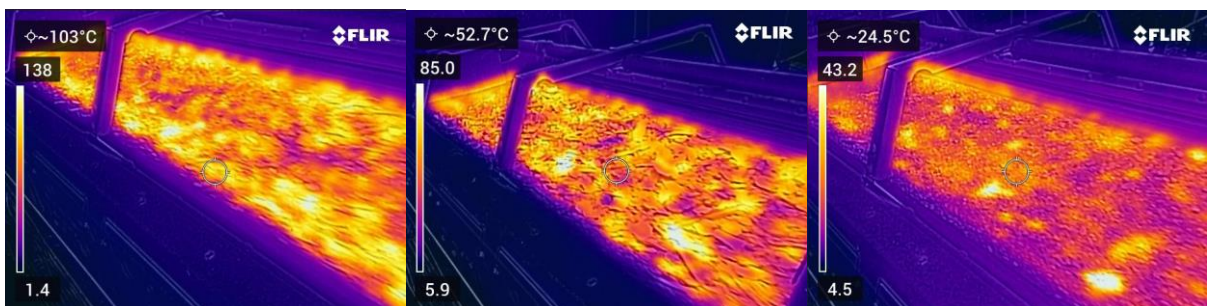


Abbildung 19: IR-Messung auf Förderband bei Kühlschrott, Alu und MBA

3.1.2 These 2: Sichere Betriebsweise durch Verwendung des Mischrings

Der Mischring hat die Aufgabe, zu verhindern, dass ein zündfähiges Gemisch bis in die Filteranlage gelangen kann und dort in Anwesenheit eines Funkens eine Verpuffung und somit kritischen Schaden verursacht. Das Prinzip dabei beruht darauf, eine zündfähige Atmosphäre abzumagern bzw. diese nicht entstehen zu lassen.

Die Entstaubungsanlage setzt an der Mühle mit einer Absaugleistung von max. $43.000 \text{ m}^3/\text{h}$ an, welche je nach Fraktion unterschiedlich stark abgerufen wird. Während verunreinigte und potenziell zündfähige Luft an der Mühle abgesaugt wird, strömt zeitgleich frische Luft durch die Zuführöffnung oder den Materialauslass in die Mühle ein. Zusätzlich mit der Drehbewegung des Rotors werden freiwerdende Gase automatisch und kontinuierlich mit der frischen Luft vermischt, wodurch es zu einer ersten Abreicherung zündfähiger Gemische kommt.

Unmittelbar im Steigrohr hinter der Mühle befindet sich der Mischring, wie in Abbildung 9 gezeigt. Dieser besitzt fünf Öffnungen mit unterschiedlichen Querschnitten, wodurch Frischluft mit verschiedener Strömungsgeschwindigkeit angesaugt und der abgesaugten Luft zugeführt wird. Die unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten bewirken einen hohen Mischungseffekt mit der in der Rohrleitung befindlichen Luft, sodass hier eine gezielte Abreicherung zündfähiger Gemische vorgenommen wird.

Während dem anderthalbjährigen Betrieb der Shredderanlage ist es zu keinem Zeitpunkt zu einer Verpuffung innerhalb der Entstaubungsanlage gekommen. Es wurden bisher (Stand am 24.03.2023) die nachfolgend aufgeführten Mengen an Schrotten ohne Zwischenfall verarbeitet.

- MBA: 32.476 t
- Aluminium: 24.768 t
- Kühlschrott: 18.943 t
- Sonstige Schrotte z.B. Mischschrott/Karosserien: 9.918 t

3.1.3 These 3: Hohe Abscheidegrade durch trockene Entstaubung

Bei den ersten Messungen durch Müller-BBM konnte die verbesserte Abscheideleistung durch die Filtertechnik, die Zugabe von Additiv und die Stoffstromkontrolle bereits in einem frühen Stadium des Messprogramms nachgewiesen werden. Es wurden mehrere Messreihen für jedes Material gefahren, die währenddessen von MBBM gemessen worden sind. Hierbei wurde versucht die Abluftreinigung grenzwertig zu belasten, um Spitzenbelastungen zu simulieren, die bei einem Regelbetrieb nicht auftreten. Dabei waren die Sortier- und Qualitätsergebnisse der In- und Outputstoffströme nachrangig.

- MBA: 6 Messungen; Spitzenlast von 24,59 Tonnen pro Stunde am 01.02.2022
- Alu-Fractionen: 5 Messungen; Spitzenlast von 23,91 Tonnen pro Stunde am 16.03.2022
- Kühlschrotte: 2 Messungen, Spitzenlast von 24,03 Tonnen pro Stunde am 28.01.2023
- Mischschrotte/Karosserien: 5 Messungen; Spitzenlast von 20,50 Tonnen pro Stunde am 24.08.2022

Bei allen Messungen über alle Fraktionen hinweg, wurden verschiedene Mischungen an Additiv erprobt. Besonders die Mischungen mit hohem Anteil an Aktivkohle zeigen die besten Ergebnisse bei dem Parameter „C-Gesamt“. Diese Erkenntnis deckt sich auch mit den Angaben des Herstellers zur Wirkung auf organische Verbindungen. Die Variation im Anteil des mineralischen Inhaltsstoffes hat keine Unterschiede bei den Parametern zu Dioxinen und Furanen aufgezeigt. Für diese Parameter gab es auch ohne Additiv zu keiner Zeit eine Überschreitung des Messwerts. Kalkhydrat wird lediglich als Füller verwendet, um auf 100 % Inhaltsstoffe zu kommen. Unterschiedliche Anteile haben keine signifikante Auswirkung auf die Messwerte gehabt. Bei den verarbeiteten Fraktionen sind jedoch auch keine hohe Konzentration an Schwefel- sowie Halogenwasserstoffverbindungen zu erwarten.

Besonders die Fraktion MBA hat sich neben den Karosserien und Mischschrott als ausschlaggebend für die Wirksamkeit des Abluftreinigungssystems nach dem ersten Messabschnitt herausgestellt. Für das weitere Messprogramm wurde, wie in Kapitel 2.6 beschrieben, ein eigenes FID-Messgerät verwendet, um den Einfluss der Steuer- und Regelungstechnik sowie die Zusammensetzung der Adsorbentien auf die C-Gesamt-Emissionen zu ermitteln. Die internen Messungen wurden im weiteren Verlauf auf die Fraktion MBA fokussiert, da diese die größtmögliche Überschreitung beim Testlauf aufwies.

Grundsätzlich wurden die identifizierten Einflussgrößen auch auf die anderen Stoffströme adaptiert.

Die intensivere Betrachtung des Stoffstromes MBA entfiel auf die gesamte Verarbeitungskette, da in der Vergangenheit die Verarbeitung von MBA im alten Shredder keinerlei Auffälligkeiten in Bezug auf Kohlenstoff-Emissionen zeigte. Ganz im Gegenteil, zeigten sich in alten Messungen durchweg eine geringe Konzentration an C-gesamt von 38 mg/m^3 .

Wie oben angeführt wurden folgende Einflussgrößen identifiziert:

- Qualität des Stoffstromes: MBA entsteht durch den Magnetscheider (meist Überbandmagnet) in einer LVP Sortieranlage. Normalerweise ist davon auszugehen, dass sich mindestens zwei eisenmetallhaltige Stoffströme ausbilden, da eine LVP-Anlage den Eingangsstoffstrom in mehrere Korngrößenklassen unterteilt. In einer Shredderanlage der vorliegenden Größe werden grundsätzlich die Fraktionen mit einer Korngröße $> 60 \text{ mm}$ verarbeitet. Alle anderen Fraktionen sind zu klein, um geordnet aufgeschlossen zu werden. Weiterhin reichern sich in den unteren Korngrößen weitere Bestandteile an, die unerwünscht sind wie z.B. Batterien und Knopfzellen. Neben den eisenhaltigen Stoffströmen existieren auch nichteisenmetallische Fraktionen, in denen sich Aluminiumkapseln und Spraydosen befinden. Je nach Marktlage, Absatz und Verwertungsmöglichkeiten werden diese teilweise den Fraktionen $> 60 \text{ mm}$ zugeschlagen, was sich grundsätzlich negativ auf die Qualität des Stoffstromes auswirkt.
- Für den weiteren Betrieb der Anlage wurden alle Anlieferungen intensiv begutachtet und auffällige Partien konsequent von der Annahme ausgeschlossen, da eine Vorsortierung in dem vorliegenden Kornspektrum nicht möglich ist. Weiterhin ist die Gefahr durch Brände beim Abladen von ggf. aufgeschlossenen Lithium-Ionen-Akkus zu groß.
- Bei den anderen Stoffströme wurden die Karossen einzeln geprüft und bei Zweifeln bezüglich der vollständigen Trockenlegung auf der firmeneigenen Demontageanlage erneut bearbeitet. Der Mischschrott wurde separat gelagert und vollständig ausgelegt sowie vorsortiert.

In Kapitel 2.3.3 Regelungstechnisch wurde das Zusammenspiel der Rotordrehzahl in Bezug auf die Zuführung durch die Treibrollen bereits erläutert. Während den Messungen wurden verschiedene Einstellungen für die Treibrollenfreigabe bzw. -sperrung in Abhängigkeit der Rotordrehzahl geprüft. Mit höherer Freigabe/Sperre wird ein nahezu kontinuierlicher Materialfluss bzw. Zuführung in die Mühle erzielt. Der Hauptmotor der Mühle wird gleichmäßiger belastet, was sich direkt in der aufgenommenen Wirkleistung äußert. Ein zeitlicher Vergleich der C-Gesamt-Emissionen mit der Wirkleistung verdeutlicht den Zusammenhang.

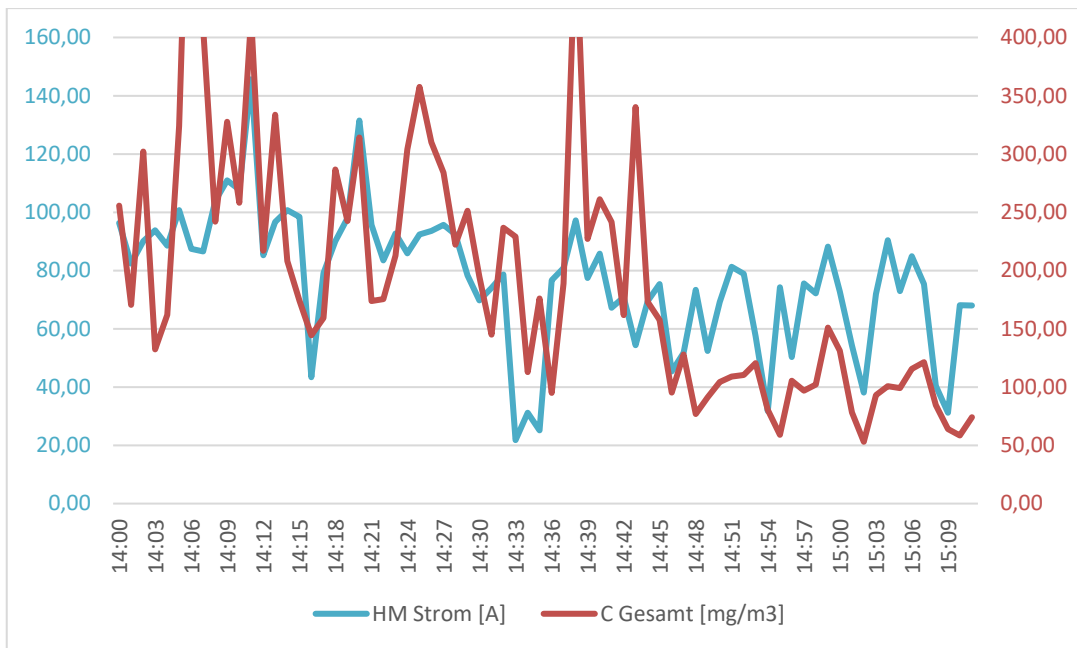


Abbildung 20: Belastung der Mühle zu Emissionen bei MBA

Im Zeitraum von 14.00 bis 14.45 Uhr wurde die Anlagen im manuellen Modus durch den Bediener betrieben. Die Stromaufnahme des Hauptmotors liegt fast durchgehend über 80 A und die Emissionen bei durchschnittlich 220 mg/m³ C-Gesamt. Erst nach Verwendung der autonomen Zuführung sinkt die Belastung der Mühle auf unter 80 A und die Schadstofffracht reduziert sich durch diese Maßnahme auf durchschnittlich 85 mg/m³.

Bei der internen Messung am 10.03.2023 wurden alle variablen Einflussgrößen gleichzeitig berücksichtigt, die da lauten:

- Steuerungs- und Regelungstechnik: Freigabe/Sperre der Treibrollen auf 575/575 rpm für gleichmäßigen Durchsatz und Belastung der Mühle
- Stoffstromkontrolle: Auswurf auf 10 % zur Erreichung eines Plandurchsatzes an Material von 15 t/h angepasst an das zu verarbeitenden Material der Tagesproduktion
- Zugabe von Adsorbens: Mischung mit 70 % Kaklhydrat und 30 % Aktivkohle und Zudosierung von 35 kg/h

Die Ergebnisse der Messung sind in der nachfolgenden Abbildung visuell dargestellt. Mit den gewählten Einstellungen konnte der Messwert für C-Gesamt im Mittel 18 mg/m³ gehalten werden. Die Korrelation zwischen der Belastung der Mühle zu der C-Gesamt-Emission liegt bei 0,47 und spricht für eine signifikante Abhängigkeit.

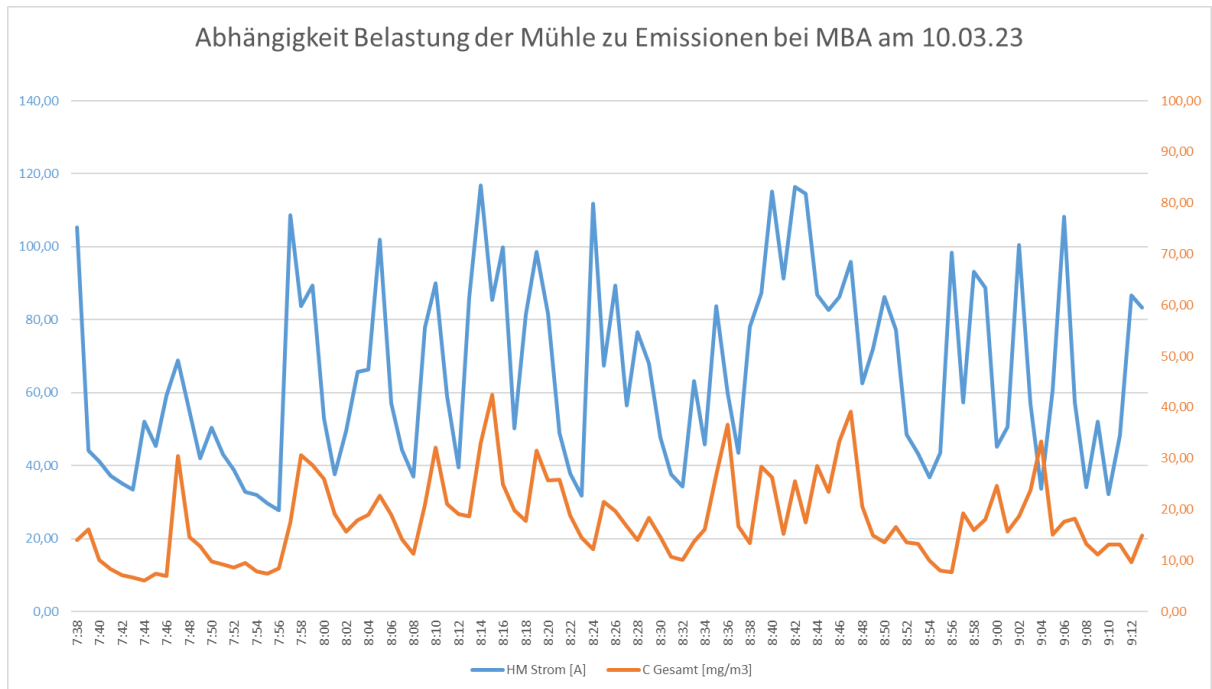


Abbildung 21: Interne Messung bei MBA und optionalen Einstellungen

Zur Verifizierung der Erkenntnisse wurde eine letzte Messkampagne durch MBBM für die Fraktionen MBA, Karossen und Mischschrott durchgeführt, wo es zu diesem Zeitpunkt noch Überschreitungen bei bestimmten Parametern gab. Eine Umweltbilanz auf Basis der Ergebnisse findet sich in Kapitel 3.3.

Bei der Messung der Fraktion MBA kam es zu nachfolgend beschriebenen Zwischenfall, welcher von Müller BBM im Messbericht festgehalten worden ist:

Anmerkung 2: Die Messwerte zwischen 10:00 – 12:30 Uhr entsprechend nicht dem typischen Emissionsverhalten der Anlage. In diesem Zeitraum konnte im Eingangsmaterial eine ungewöhnlich hohe Anzahl an Spraydosen gefunden werden. Die Messwerte zwischen 13:01 – 16:01 Uhr bilden ein repräsentatives Emissionsverhalten der Anlage ab. Hier wurden typische Chargen an MBA verarbeitet.

Die Abgasbelastung lag bis 12:30 Uhr bei über 800% des Grenzwertes. Nach der Sichtung der Spraydosen wurden sofort notwendige Maßnahmen eingeleitet und die Lieferung einem Sperrlager zugeführt. Anschließend war es selbst mit der „guten“ MBA-Fraktion nicht mehr möglich die Grenzwerte einzuhalten. Es ist zu vermuten, dass die Filterbeschichtung (Precoatierung) bzw. das dort haftende Additiv bereits vollständig durch die hohe Emissionslast gesättigt war. Die vorhandenen Dosieranlagen verfügten nicht über ausreichend Dosierleistung, um in der kurzen Zeit der Messung wieder ausreichend Additiv der Filteranlage zuzuführen. Der Grenzwert der TA Luft konnte zwar eingehalten werden, jedoch nicht der avisierte Wert von 30 mg/Nm³.

3.1.4 These 4: Energieeffiziente und ressourcen-schonende Betriebsweise

Die neue trockene Entstaubungsanlage hat positiven Einfluss auf die Energieeffizienz. Diese wird erreicht durch strömungsoptimierte Rohrleitungen, wodurch ein Ventilator mit geringerer Leistung verwendet werden kann. Außerdem wird durch den Verzicht auf einen Wasserkreislauf mit Aufbereitung weiterhin Energie eingespart. Die anvisierte intelligente Steuerung mit einer Vielzahl von unterschiedlichen Sensoren innerhalb der Gesamtanlage bewirkt ein optimales Zusammenspiel aller installierten Aggregate. Jedoch soll der Energieeinsatz der Gesamtanlage in Form von Strom, Druckluft und Wärme betrachtet und effizienter gestaltet werden. Daher wird die Steuerung mit weit mehr Sensoren für die unterschiedlichsten Parameter ausgestattet als dies bisher Stand der Technik ist. So wird derzeit in den Shredderanlagen einzig die Stromaufnahme und Drehzahl des Hauptmotors betrachtet. Bei entsprechender hoher Stromaufnahme oder Abfall der Drehzahl wird die Materialzufuhr der Anlage automatisch gesperrt. Zukünftig soll das Zusammenspiel der einzelnen Anlagenteile (Zuführung, Treibrollen, Pressdeckel und Hauptmotor) miteingeschlossen werden. Dadurch werden Lastspitzen und ein diskontinuierlicher Durchsatz und damit auch unterschiedliche Beladung des Abluftstromes vermieden. Eine gleichmäßige Fahrweise wird daher angestrebt. Eine Festlegung ist aufgrund von Schwierigkeiten mit Verzögerungen der Steuerung vgl. Kapitel 4.1.2 Steuerung nicht seriös darstellbar.

Die Energieeffizienz der Anlagen wird aus den reinen Daten der installierten Antriebsleistungen noch nicht erkennbar (alter Shredder ~ 1.464 kW; neuer Shredder ~ 1.435 kW). Die Antriebe der nun elektrischen Treibrollen und der getrennten Ventilatoren sind entsprechend dem anspruchsvollsten Inputmaterial dimensioniert. Die frequenzgeregelter Steuerung ermöglicht es, bei diesen Antrieben nur die benötigte Energiemenge abzurufen, sodass sich erst hierbei die Energieeinsparung ergibt. Ohne Frequenzregelung wären diese Antriebe überdimensioniert. Für den Vergleich wird die abgerufene Energie auf die verarbeitete Tonnage bilanziert.

Neben der Ressource Energie wird außerdem Frischwasser durch den Verzicht auf den Nasswäscher eingespart, was im nachfolgenden Kapitel als Stoff- und Energiebilanz dargestellt wird.

3.2. Stoff- und Energiebilanz

Durch die Umstellung auf eine Trockenentstaubung sowie Effizienzsteigerung der Energieaufnahme und der Steuerung wird neben dem Einsatz von Wasser auch Energie in Form von Strom für den Betrieb der Anlage sowie auch für die Erzeugung der Druckluft eingespart.

3.2.1 Wassereinsparung

Bei der Abluftreinigung mittels Venturidüse (nass) wird zur Abscheidung der Schmutzpartikel die beladene Luft durch einen Wassernebel geführt. Das dafür notwendige Brauchwasser wird

aus dem vorhandenen Wassertank, mit bis zu 25 m³ Fassungsvermögen, entnommen, der als Schlamm-bagger ausgeführt ist. Dieses Prozesswasser wird in einem Kreislauf geführt (siehe Abbildung 5 und Abbildung 7, Kapitel 1.2.1 Technische Ausgangssituation). Allerdings lassen sich Verluste durch Verdunstung oder Austrag mit dem Schlamm nicht vermeiden, weshalb ein kontinuierlicher Bedarf an Frischwasser von bis zu 600 l/h notwendig ist. Nachfolgend ist der gesamte Frischwasserverbrauch für eine 1.250 PS Shredderanlage dargestellt.

- Wasserverbrauch pro Betriebsstunde: 600 l/h
- Betriebsstunden pro Jahr: 2.917 h/a
- Wasserverbrauch bei quartalsweisem Wechsel: 100.000 l/a
- Wasserverbrauch pro Jahr: 1.850.200 l/a

Die hierdurch erreichte Wassereinsparung im Betrieb der Anlage beträgt pro Jahr 1,85 Mio. Liter.

3.2.2 Energieeinsparung

Die Energieeffizienz wird in aufgenommener Energie [kWh] pro Tonne an verarbeitetem Material im Input betrachtet. Es stehen dazu Messdaten aus Stromverbrauch und Druckluftbedarf aus den Jahren 2020, 2021 und 2022 zur Verfügung (siehe Anhang 3_Energieverbräuche Shredder).

Es hat sich gezeigt, dass die neue Anlage nicht nur weniger Energie abrufen, sondern die kontinuierliche Belastung des Hauptmotors eine Steigerung der Durchsatzleistung zur Folge hat.

Tabelle 10: Energieeffizienz neuer und alter Shredder

Durchsatzleistung MBA	11,48 t Input/h	24,59 t Input/h
Durchsatzleistung Alu	17,9 t Input/h	23,91 t Input/h
Durchsatzleistung Kühlschrott	9,55 t Input/h	24,03 t Input/h
Elektrischer Energiebedarf	65,0 kWh/t Input	47,9 kWh/t Input
Druckluftbedarf	24,8 m ³ /t Input	12,2 m ³ /t Input
Gesamter elektrischer Energiebedarf	69,71 kWh/t Input	50,22 kWh/t Input

Unser Energiebedarf, um einen Kubikmeter an Druckluft zu erzeugen, beträgt nach den Daten unserer Abteilung QHSE¹⁹ 0,19 kW/m³, sodass sich eine Einsparung an elektrischer Energie von 19,49 kWh/t Input ergibt. Die Einsparung liegt damit bei 28 %. Für das Unternehmen äußert sich der reduzierte Strombedarf in einer jährlichen Einsparung von 1.306.870,77 kWh.

3.2.3 Additivverbrauch

Der maximale Verbrauch pro Stunde liegt bei 35 kg / h. Damit beläuft sich im Jahr 2022 der

¹⁹ Quality, Health & Safety, Environment

Additivverbrauch bei 2.975,41 Produktionsstunden auf maximal 104.139 kg/a. Die Messergebnisse zeigen, dass die Dosierung nicht bei allen Fraktionen erforderlich sein muss. Bei den Hauptfraktionen Aluminium und Kühlschrott können die Grenzwerte auch ohne Dosierung eingehalten werden, wenn die Anlage im geregelten Betrieb arbeitet. Die Precoatierung der Filter ist unabhängig von der Fraktion im Einsatz und richtet sich nach dem Filterabreinigungsintervall.

3.3. Umweltbilanz

Tabelle 12 zeigt einen direkten Vergleich der Messergebnisse von altem zu neuem Shredder. Alle Messergebnisse wurden einer Plausibilitätsprüfung unterzogen. So wurden zum Beispiel Ausreißer (z.B. Benzol bei MBA am 30.08.2023) nicht für die Zusammenfassung miteinbezogen. Ebenso wie der Messwert für C-Gesamt aus der finalen MBA-Messung aufgrund des zuvor beschriebenen Zwischenfalls an der Anlage.

In der Regel wurden Mittelwerte berechnet. Ausnahmen bilden die genannten Fraktionen unter MBA, Karossen, Mischschrott. Hier wurden die letzten Messwerte nach allen Anlagenoptimierungen verwendet.

Die Hauptemissionsträger bleiben Staub und C-Gesamt, welche nachfolgend auf die Inputtonnage des neuen Shredders bilanziert werden. Darüber hinaus wird zusätzlich die Reduzierung an CO₂-Emissionen betrachtet, welche sich direkt aus der Energieeinsparung im Betrieb ergibt.

Tabelle 11: Vergleich der Messergebnisse

Parameter		MBA/DSD		Aluminium-Blech		Kühlschrott		Karossen		KVM/Mischschrott	
		Alt	Neu	Alt	Neu	Alt	Neu	Alt	Neu	Alt	Neu
Benzol	1 mg/m ³	5	0	0	0	0	0	3	0	0	0
Staub	5 mg/m ³	18	2	11	2	7	1	14	2	4	1
C Gesamt	30 mg/m ³	38	18	14	25	9	11	68	64	19	29
Staubförmig Anorganik Klasse I Hg, TI	0,01 mg/m ³	0,00	0,00	0,07	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Staubförmig Anorganik Klasse II Pb, Co, Ni, Se, Te	0,5 mg/m ³	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00
Staubförmig Anorganik Klasse III Sb, Cr, Cu, Mn, V, Sn, CN, F	1 mg/m ³	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Summe Klasse I - III	1 mg/m ³	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
Krebserzeugende Stoffe Klasse I As, B(a)P, Cd, Co, CrVI	0,05 mg/m ³	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
PCDD/F	0,1 ng/m ³	0,200	0,000	0,185	0,000	0,000	0,000	0,050	0,000	0,100	0,000
PBDD/F	0,1 ng/m ³	0,100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,500	0,000	0,500	0,000
dl-PCB	0,1 ng/m ³	0,082	0,007	0,094	0,005	0,022	0,001	0,068	0,000	0,087	0,002
Asbestfaser	10000 Stk/m ³	9500	8587	9533	8348,4	7384	9473	9505	8194	7331	8205
Keramikfaser	15000 Stk/m ³	7337	8533	13464	8348,4	7384	9473	9505	8194	7331	8205
Mineralfaser	50000 Stk/m ³	13586	8533	14999	9857,8	15808	9473	9505	9184	12830	11717

Die Tabelle zeigt eine einzige Grenzwertüberschreitung bei der Fraktion „Karossen“ und dem Parameter „C-Gesamt“. Trotz aller Maßnahmen konnte diese Emission hier durch die neue Technik und die Prozesssteuerung kaum verbessert werden. Eine solche Fraktion wurde lediglich für das Messprogramm als reine Altfahrzeugfraktion verarbeitet. In der Regel werden diese zusammen mit dem Mischschrott verarbeitet und belaufen sich auf 10% des Inputs.

Allen anderen Überschreitungen des alten Shredders konnten vermieden werden, wobei hier besonders die Staublast deutlich hervorzuheben ist.

3.3.1 Staub-Emission

Ein Vergleich der Messergebnisse an den beiden verschiedenen Entstaubungsanlagen zeigt

beim Parameter „Staub“ nachfolgende Reduzierung der Umweltbelastung je Fraktion.

Tabelle 12: Staubemissionen pro Anlage

Staubemission	MBA/DSD	Aluminium-Blech	Kühlschrott	Karosser/Doppelsh.	KVM/Mischschrott	Summe
Messung Alter Shr.	18,00 mg/m ³	11,00 mg/m ³	7,00 mg/m ³	14,00 mg/m ³	4,00 mg/m ³	
Volumenstrom	78.022,00 m ³ /h	47.730,00 m ³ /h	75.677,00 m ³ /h	75.156,00 m ³ /h	76.975,00 m ³ /h	
Produktion 2020	1.484,47 h/a	772,20 h/a	682,88 h/a	43,05 h/a	43,05 h/a	3.025,64 h/a
	24.592,09 To. Input/a	12.553,24 To. Input/a	10.110,01 To. Input/a	199,44 To. Input/a	199,44 To. Input/a	47.654,21 To. Input/a
Emission pro Jahr	2.084,78 kg Staub/a	405,43 kg Staub/a	361,75 kg Staub/a	45,29 kg Staub/a	13,25 kg Staub/a	2.910,50 kg Staub/a
	84,77 g Staub/To. Input	32,30 g Staub/To. Input	35,78 g Staub/To. Input	227,10 g Staub/To. Input	66,46 g Staub/To. Input	446,41 g Staub/To. Input
Staubemission	MBA/DSD	Aluminium-Blech	Kühlschrott	Karosser/Doppelsh.	KVM/Mischschrott	Summe
Messung Neuer Shr	2,00 mg/m ³	2,14 mg/m ³	1,33 mg/m ³	1,50 mg/m ³	1,30 mg/m ³	
Volumenstrom	82.761,00 m ³ /h	81.970,50 m ³ /h	83.201,00 m ³ /h	81.040,50 m ³ /h	82.395,00 m ³ /h	
Produktion 2022	1.037,07 h/a	840,91 h/a	805,40 h/a	146,02 h/a	146,02 h/a	2.975,41 h/a
	32.476,00 To. Input/a	24.767,78 To. Input/a	18.942,77 To. Input/a	4.958,77 To. Input/a	4.958,77 To. Input/a	86.104,09 To. Input/a
Emission pro Jahr	171,66 kg Staub/a	147,71 kg Staub/a	89,35 kg Staub/a	17,75 kg Staub/a	15,64 kg Staub/a	442,10 kg Staub/a
	5,29 g Staub/To. Input	5,96 g Staub/To. Input	4,72 g Staub/To. Input	3,58 g Staub/To. Input	3,15 g Staub/To. Input	22,70 g Staub/To. Input

In Summe reinigt die neue Entstaubungstechnik pro Jahr 2,464t mehr Staub ab, obwohl bei allen Fraktionen der Staub einen höheren Volumenstrom aufweist. Die Reduzierung liegt damit bei ca. 85 % an Staubemissionen in die Umwelt. Normiert auf die Input-Tonnage der beiden Anlagen wird die Staublast von ca. 446,41 auf ca. 22,70 g Staub/t-Input reduziert. Diese Reduktion an Staubemissionen in die Umgebungsluft liegt relativ bei 95%.

3.3.2 Gesamt-Kohlenstoff-Emission

Tabelle 13: C-Gesamt Emissionen pro Anlage

C-Gesamt	MBA/DSD	Aluminium-Blech	Kühlschrott	Karosser/Doppelsh.	KVM/Mischschrott	Summe
Messung Alter Shr.	38,00 mg/m ³	14,00 mg/m ³	9,00 mg/m ³	68,00 mg/m ³	19,00 mg/m ³	
Volumenstrom	78.022,00 m ³ /h	47.730,00 m ³ /h	75.677,00 m ³ /h	75.156,00 m ³ /h	76.975,00 m ³ /h	
Produktion 2020	1.484,47 h/a	772,20 h/a	682,88 h/a	43,05 h/a	43,05 h/a	3.025,64 h/a
	24.592,09 To. Input/a	12.553,24 To. Input/a	10.110,01 To. Input/a	199,44 To. Input/a	199,44 To. Input/a	47.654,21 To. Input/a
Emission pro Jahr	4.401,21 kg C-Ges./a	516,00 kg C-Ges./a	465,10 kg C-Ges./a	219,99 kg C-Ges./a	62,95 kg C-Ges./a	5.665,25 kg C-Ges./a
	178,97 g C-Ges./To. Input	41,10 g C-Ges./To. Input	46,00 g C-Ges./To. Input	1.103,05 g C-Ges./To. Input	315,66 g C-Ges./To. Input	1.684,79 g C-Ges./To. Input
C-Gesamt	MBA/DSD	Aluminium-Blech	Kühlschrott	Karosser/Doppelsh.	KVM/Mischschrott	Summe
Messung Neuer Shr	18,00 mg/m ³	25,29 mg/m ³	11,67 mg/m ³	64,00 mg/m ³	29,00 mg/m ³	
Volumenstrom	82.761,00 m ³ /h	83.176,40 m ³ /h	84.400,75 m ³ /h	83.360,33 m ³ /h	85.197,50 m ³ /h	
Produktion 2022	1.037,07 h/a	840,91 h/a	805,40 h/a	146,02 h/a	146,02 h/a	2.975,41 h/a
	32.476,00 To. Input/a	24.767,78 To. Input/a	18.942,77 To. Input/a	4.958,77 To. Input/a	4.958,77 To. Input/a	86.104,09 To. Input/a
Emission pro Jahr	1.544,92 kg C-Ges./a	1.768,58 kg C-Ges./a	793,06 kg C-Ges./a	779,00 kg C-Ges./a	360,77 kg C-Ges./a	5.246,33 kg C-Ges./a
	47,57 g C-Ges./To. Input	71,41 g C-Ges./To. Input	41,87 g C-Ges./To. Input	157,10 g C-Ges./To. Input	72,75 g C-Ges./To. Input	390,69 g C-Ges./To. Input

Die erhöhte Reinigungsleistung der Abluft durch die Entstaubung beträgt pro Jahr 0,461,52 t C-Gesamt Emission. Die Reduzierung liegt damit bei ca. 8 % an Emissionen in die Umwelt. Auch hier normiert auf die Input-Tonnage wird die Emission von 1.685 auf 391 g C-Gesamt/t Input reduziert. Diese Einsparung an Kohlenstoffbelastung liegt relativ bei 77%.

3.3.3 CO₂-Emission

Die Energieeinsparung pro verarbeitete Tonne wird im nachfolgenden mit einem CO₂-Äquivalent verrechnet, welches die entsprechende Emission pro erzeugte Kilowattstunde im deutschen Strommix 2022 darstellt.

- Reduzierter Leistungsbedarf: 19,49 kWh/t Input
- CO₂-Äquivalent für deutschen Strommix²⁰: 420 g/kWh
- CO₂-Einsparung im Betrieb: 8.185 g CO₂/t Input
- Jahrestonnage 2022 aus internen Betriebsdaten: 67.053 t Input/a

²⁰ <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/38897/umfrage/co2-emissionsfaktor-fuer-den-strommix-in-deutschland-seit-1990/>; Stand: 27.03.2023

- CO₂-Einsparung pro Betriebsjahr: 54,9 t CO₂/a

Die jährliche Einsparung liegt bei 54,9 t CO₂/a bzw. 8,19 kg CO₂/t Input.

3.4. Wirtschaftlichkeitsanalyse

Durch die neue Installation der Shredderanlage inklusive der geförderten Projektteile, konnte die Effizienz der Altanlage signifikant gesteigert werden. Dabei ist zu beachten, dass die Investitionskosten durch unvorhersehbaren Aufwand (z.B. Bodenverbesserungen) und diverser Genehmigungsaufgaben (z.B. weitere Feuerlöscheinrichtung) mit 1 Mio.€ über dem prognostizierten Budget lagen. Durch die während der letzten Jahre vorherrschenden Umstände (Corona, Angriffskrieg gegen die Ukraine), ist es nicht möglich eine sinnvolle und nachvollziehbare Darstellung der Betriebskosten abzubilden. Aus diesem Grund wurden in der Amortisationsrechnung die durch Effizienz- und Kostensteigerung (inkl. Instandhaltung) geänderten Betriebskosten über die Veränderung der Marge ausgedrückt. Alle weiteren Annahmen, die in die Berechnung eingeflossen sind, sowie deren Abweichungen sind dargestellt in Tabelle 14: Annahmen für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Tabelle 14: Annahmen für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

	Antrag 2018	IST 2022	Abweichung [%]
Investitionskosten	7.599.825 €	8.640.325 €	13,69
Förderung (optional)	971.274 €	796.400 €	-18,00
Nutzungsdauer [a]	15	15	0,00
jährl. Afa (ohne Förderung)	506.655 €	576.022 €	13,69
kalk. Zinsen: (ohne Förderung)	62.699 €	71.283 €	13,69
Menge [t]	62.445	66.775	6,93
Produktionsstunden [h]	2.917	3.040	4,22
Betriebsstunden [h]	3.358	3.537	5,33
Ø-Durchsatz [t/h]	21	22	4,76

Die Amortisationsrechnung Abbildung 22: Amortisationsrechnung zeigt eine leichte Verbesserung der Amortisationsdauer von 0,5 % zum Forecast aus dem Projektantrag im Jahr 2018. Dieser resultiert im Wesentlichen aus den Kosten- und Leistungsverbesserungen der Anlage, sowie der erhöhten Betriebs- und Produktionsstunden. Zu beachten ist, dass Preissteigerungen bedingt durch den Anstieg der Inflation und Energiekosten nicht eingerechnet sind.

- Berechnung a)		(über Marge)	Berechnung b)		(über Marge)	Berechnung Forecast Projektantrag		(über Marge)
Investitionssumme:		8.640.325 €	Investitionssumme:		8.640.325 €	Investitionssumme:		7.559.825 €
J. Förderung:	1,65% p.a.	- €	J. Förderung:		796.400 €	Förderung:		971.274 €
Investitionssumme nach Förderung:		8.640.325 €	Investitionssumme nach Förderung:		7.843.925 €	Investitionssumme nach Förderung:		6.588.551 €
Marge:	12,38 €/to	826.679 €	Marge:	12,38 €/to	826.679 €	Marge:	11,14 €/to	695.640 €
J. Abschreibung:		576.022 €	J. Abschreibung:		522.928 €	Abschreibung:		441.903 €
J. Zinsen	1,65% p.a.	71.283 €	J. Zinsen	1,65% p.a.	64.712 €	Zinsen	1,65% p.a.	54.686 €
J. Betriebskosten p.a.		- €	J. Betriebskosten p.a.		- €	Betriebskosten p.a.		- €
Ø Gewinn p.a.		179.375 €	Ø Gewinn p.a.		239.038 €	Ø Gewinn p.a.		199.051 €
+ Abschreibung:		576.022 €	+ Abschreibung:		522.928 €	Abschreibung:		441.903 €
= Ø Rückfluss p.a.		755.397 €	= Ø Rückfluss p.a.		761.967 €	Ø Rückfluss p.a.		640.954 €

Amortisationsdauer =	Kapitaleinsatz	Ø Rückfluss p.a.
Amortisationsdauer =	8.640.325 €	755.397 €
		11,44 J.

Amortisationsdauer =	Kapitaleinsatz	Ø Rückfluss p.a.
Amortisationsdauer =	7.843.925 €	761.967 €
		10,29 J.

Amortisationsdauer =	Kapitaleinsatz	Ø Rückfluss p.a.
Amortisationsdauer =	6.588.551 €	640.954 €
		10,34 J.

Die Anlage amortisiert sich in 11 Jahr(en), 5 Monat(en) u.8 Tag(en) Die Anlage amortisiert sich in 10 Jahr(en), 3 Monat(en) u.16 Tag(en) Die Anlage amortisiert sich in 10 Jahr(en), 4 Monat(en) u.2 Tag(en)

Abbildung 22: Amortisationsrechnung

Die im Projektantrag weiter aufgeführten Punkte im Verhältnis zu alternativen Konzepten und Anlagen stellen sich wie folgt dar:

- Fläche
 Der genutzte Flächenbedarf wurde durch eine sehr kompakte Bauform des Shredders geringgehalten. Durch die Errichtung einer Halle und Installation einer Aufbereitung für die Shredderleichtfraktion wurde effektiv eine größere Fläche als vorher belegt. Dafür werden alle Fraktion der Shredderleichtfraktion geschützt gelagert.
- Personal
 Der Personaleinsatz hat sich im Verhältnis zur Altanlage nicht geändert. Wesentlicher Vorteil ist, dass durch die automatische Shreddersteuerung und deren variablen Darstellung, der Anlagenfahrer nicht mehr an den Kontrollraum gebunden ist. Dieser kann sich frei an der Anlage bewegen und anbahnende Störungen, Absprachen mit Baggerfahrern und vorbereitende Arbeiten frühzeitig erkennen, beheben oder abarbeiten.
- Sicherheit
 Durch die vollständige Absicherung bzw. Kapselung der Anlage ist das Eindringen in Gefahrenbereich nicht mehr möglich. Öffnen von Absperrungen haben immer eine Abschaltung der im Gefahrenbereich betriebenen Aggregate zur Folge.

3.5. Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren

Die technischen Unterschiede wurden bereits in den voran gegangenen Kapiteln dargestellt. Der innovative Teil ist, dass die Leistungsparameter der Anlage (hier Zerkleinerung) auf die Abluftreinigung abgestimmt wurden. Bei den aktuell betriebenen Anlagen entscheidet der Anlagenfahrer über die Auslastung der Anlage und die Abluftreinigung arbeitet kontinuierlich unter Vollast. Bei Anlagen, die nur über eine Abluftreinigungsanlage für Mühlen- und Sichterentstaubung verfügen, ist nur die Verteilung der Gesamtkapazität möglich. Bei Stoffströmen, die eine hohe Sichterluftleistung erfordern, entfällt somit weniger Luftleistung auf die Mühlenentstaubung und umgekehrt. Man kann daher eher von einer „Mangelverwaltung“ sprechen als von einer auf den Abluftstrom zielgerichteten Management. Grundsätzlich ist es möglich die Gesamtluftleistung der Anlage zu erhöhen, dadurch steigt aber auch die energetische Ineffizienz.

Je nach Alter der Bestandsanlage sind regelungs- und steuerungstechnisch kaum Eingriffe möglich. Erst Anlagen jüngeren Alters besitzen die elektrotechnischen Voraussetzungen wie moderne Steuerungen und Frequenzumrichter an leistungsstarken Antriebsmotoren, um eine energieeffiziente und auf die Abluft orientierte Fahrweise darzustellen. Betrachtet man das Alter der Shredderanlagen in Deutschland, ist eine Vielzahl weit älter als 20 Jahre. Jüngere Anlagen vgl. Fa. IMR, Krefeld²¹ verfügen über Aktivkohlereinigungsstufen, die einen hohen Platzbedarf haben und bei unvorhersehbaren Betriebsereignissen (Treibstoffnebel, Verpuffung, etc.) teilweise ihre Reinigungswirkung verlieren und getauscht werden müssen. Daher ist eine ganzheitliche Abluftreinigung, die sich auf die vorherrschenden Änderungen der Abluft anpassen kann, flexibler, weniger energieintensiv und kostengünstiger.

²¹ Quelle: Abschlussbericht Projekt EnoS, 2014

4. Übertragbarkeit

4.1. Erfahrungen aus der Praxiseinführung

4.1.1 Stoffstrom

Das Projekt hat als zentrale Erkenntnis gezeigt, dass die Ausrichtung einer Anlage auf den Abluftstrom als „Nebenstoffstrom“ bzw. die Abluftreinigung und nicht auf die leistungsprägenden Anlagenteile und den Stoffstrom, nicht zwangsläufig eine Verschlechterung der Gesamtperformance einer Anlage bedeutet. Vielmehr zwingt diese Art der Blickrichtung den Betreiber zu einer intensiveren Auseinandersetzung mit anderen bzw. vorgelagerten Prozessen der Stoffströme, wie der Bereich der Annahme und Vorsortierung. Grundsätzlich gilt: „Alle Schadstoffe, die nicht dem Aggregat zugeführt werden, können keine negativen Auswirkungen auf die Emissionen ausüben.“ So einfach das klingt, so herausfordernd ist die Vorselektion von heterogenen Stoffströmen.

4.1.2 Steuerung

Die elektrische Ausrüstung der Anlage mit einer hohen Anzahl von Frequenzumformer gesteuerten Motoren hat zwei Schwierigkeiten aufgezeigt:

- Trägheit der Informationsübermittlung und Ansteuerung der Motore; durch die intensive Regelung der Motore zeigte sich, dass die Reaktionszeit der einzelnen Motore in Abhängigkeit zur Anschlussleistung unterschiedlich lange Zeit benötigen, um auf die anvisierte Geschwindigkeit zu kommen.
- Schwierigkeit der Regelungstechnik; durch die Frequenzumrichter gesteuerten Motore wurde das Stromnetz stark belastet und erreichte kritische Zustände.

Zukünftig muss für eine sensorgestützte Steuerung die Auslegung der elektrischen Ausführung von Grund auf neu arrangiert werden. Trotz Berücksichtigung von Abschirmung und Querschnitten gab es häufig Probleme mit der Steuerung. Der robuste Betrieb und die sensible Technik sind noch nicht vollständig harmonisiert.

Innerhalb des Projektes sollte die Steuerung der Anlage über ein mobiles Tablet erfolgen. Diese Umsetzung war technisch nicht möglich, da der „Delay“ bei der Datenübermittlung außerhalb der Anforderungen durch den Arbeitsschutz lag. Eine stationäre zweite Steuerung vom Hof aus, die ursprünglich für die bessere Bedienbarkeit der Anlage für die Instandhaltung gedacht war, kann jetzt auch für den Betrieb genutzt werden. Diese Vorgehensweise wurde in dieser Zeit auch von einem Anlagenhersteller umgesetzt. Dabei wird in diesem Fall, wegen Verpuffungen und der Sicherheit des Anlagenfahrers, der Leitstand nicht mehr oberhalb der Füllschurre verbaut. Hierbei ist aber zu beachten, dass die akustische Rückkopplung aus dem Mühlenraum an den Anlagenfahrer z. B. bei Grobteilen durch andere technische Lösungen, wie z.B. ein „elektrisches Ohr“, gelöst wird.

Durch die Trägheit des Regelungssystems kann die Abluftreinigung nicht äquivalent auf Emissionsspitzen reagieren. Dadurch ist eine stetige ineffiziente Überdosierung von Additiven

im Abluftstrom nötig. Es wäre zweckmäßig in einem weiteren Programm zu ermitteln, ob die Installation eines Aktivkohlefilters diesen Umstand verbessern könnte. Auch die Problematik bei einem Aktivkohlefilter im konventionellen Einbau mit einer vorgeschalteten Nassentstaubung, dass bei Verpuffungen Ölnebel oder Kraftstoffreste den Aktivkohlefilter beschädigen, würde ggfs. seltener auftreten.

4.1.3 Anwendung

Anlagen, die einen ähnlichen technisierten Standard haben, erzeugen zwangsläufig einen Paradigmenwechsel. Die Anlagenfahrer sind bisher in einem direkten Kontakt mit der Anlage über die Positionierung des Kontrollraumes gewesen. Durch die variable Steuerung von einer anders gelegenen Stelle, brauchen die Anlagenfahrer erst das Vertrauen in die technischen Neuerungen. Durch die automatisierte Steuerung ändern sich die Betriebsweisen vollständig. Dieser Eingriff in die Steuerung wurde und wird aktuell noch als störend von den Anlagenfahrern empfunden und dadurch der Automatikbetrieb gerne abgeschaltet.

4.2. Modellcharakter/Übertragbarkeit (Verbreitung und weitere Anwendung des Verfahrens/der Anlage/des Produkts)

Allein in Deutschland werden 41 Großshredderanlagen betrieben, bei denen das Verfahren zum Einsatz kommen könnte. Aktuell werden Systeme erprobt, die eine Nass- und eine Trockenstufe für die Mühlenentstaubung vorsehen. Aus unserer Sicht sind beide Verfahren tauglich die TA-Luft einzuhalten. Entscheidend sind die Betrachtung, Vorsortierung und Qualitätskontrolle der Inputstoffströme und das jeweilige Alter der Shredderanlagen.

Grundsätzlich ist die Anlage bei allen Shredderanlagen nachrüstbar. Unter wirtschaftlichen und technischen Gesichtspunkten sollte die Installation einer solchen Anlage immer im Zuge eines Neubaus in Betracht gezogen werden. Allein die technische Abnahme der Gesamtanlage mit anschließender CE-Kennzeichnung erweist sich als schwierig, da kaum ein Maschinenbauer mit alten oder fremden Komponenten diese ausstellt. Weiterhin haben sich Sicherheits- und elektrische Standards stark weiterentwickelt und müssen in der Regel vollständig erneuert werden. Dazu kommen Genehmigungsaufgaben, die im Bereich Lärm- und Luftemissionen weitreichende Änderungen vorsehen, um eine Folgegenehmigung zu erhalten.

Weiterhin ist es denkbar kleinere Installationen an Querstromzerspanner oder kleinere Mühlen zu betreiben, wenn Stoffströme verarbeitet werden, die ein ähnliches Emissionsbild haben.

4.3. Kommunikation der Projektergebnisse

Die Projektergebnisse werden im Rahmen der Sitzung des Fachausschuss Umwelt der BDSV am 11.07.2023 dargestellt. Weiterhin wird eine Publikation in der Fachzeitschrift Recycling Magazin nach Abgabe des Abschlussberichtes und im Anschluss an die Sitzung veröffentlicht.

5. Zusammenfassung/Summary

– Einleitung/Introduction

Die Steil Gruppe, betreibt mit ihrem Tochterunternehmen der Steil Recycling GmbH & Co. KG insgesamt vier Shredderanlagen. Darüber hinaus werden in nachgeschalteten Anlagen alle Stoffgemische bis zu fertigen Recycling-Rohstoffen aufbereitet und direkt den Stahl- und Hüttenwerken zugeführt. Innerhalb dieser Anlagen und auf den Niederlassungen werden mit 650 Mitarbeitern jährlich ca. 1,6 Mio. t Stahlschrott verarbeitet.

Im Rahmen der Erstellung des europäischen BVT Merkblatt Abfallbehandlung sowie deren Umsetzung in nationale Gesetze, wurde die TA-Luft 2021 novelliert und neue Grenzwerte und Anforderungen für Shredderanlagen festgelegt. Durch diese Änderung sind die Betreiber von Shredderanlagen aufgefordert ihre Anlagen anzupassen. Die Anpassung erfolgt in diesem Vorhaben durch eine neuartige trockene Entstaubungstechnik, die die Grenzwerte nicht nur einhalten, sondern deutlich unterschreiten soll.

The Steil Group, together with its subsidiary Steil Recycling GmbH & Co. KG, operates a total of four shredder plants. In addition, all material mixtures are processed in downstream plants to finished recycling raw materials and fed directly to the steel and metallurgical plants. Within these plants and at the branches, 650 employees process approx. 1.6 million t of steel scrap per year.

In the context of the preparation of the European BAT Code of Practice on Waste Treatment and its implementation in national laws, the TA-Luft 2021 was amended and new limit values and requirements for shredder plants were defined. Due to this amendment, the operators of shredder plants are required to adapt their plants. The adaptation of this projects is carried out by an innovative dry dedusting technology which not only meets the limit values, but is also intended to be significantly below them.

– Vorhabenumsetzung/Project implementation

Für die Anpassung der Abluftreinigung von Shredderanlagen an die Anforderungen der neuen TA-Luft, war die Zielsetzung eine rein trocken arbeitende Abluftreinigung zu verwenden. Dabei wurden unterschiedliche metallische Stoffströme betrachtet und innerhalb der Anlage verarbeitet. Weiterhin wurde eine automatische Steuerung zur Optimierung des Stoffflusses, sowie Remote-Steuerung der Anlage vorgesehen, um ein energiesparendes und effizientes Gesamtsystem zu erhalten.

Grundsätzlicher Fokus bei dem gesamten Projekt waren die Eigenschaften der unterschiedlichen metallischen Stoffströme, sowie der Erkenntnisgewinn für die ggfs. notwendige Vorbehandlung und -sortierung. Dadurch konnten die Stoffströme optimal auf die Abluftreinigung angepasst werden, um eine hohe Effizienz und Abscheidegrad zu realisieren. Die automatische Steuerung der Shredderanlage ist darauf ausgerichtet einen möglich gleichmäßigen Arbeitsbetrieb darzustellen, um somit ebenfalls Belastungsspitzen, sowohl im Bereich des Energieeinsatzes als auch im Bereich der Emissionen, zu reduzieren.

For the adaptation of the exhaust air purification of shredder plants to the requirements of the new TA-Luft, the objective was to use a purely dry exhaust air purification system. Different metallic material flows were considered and processed within the plant. Furthermore, an automatic control system for the optimization of the material flow as well as remote control of the plant were planned in order to achieve an energy-saving and efficient overall system.

The fundamental focus of the entire project was on the properties of the different metallic material flows, as well as on gaining knowledge for the pre-treatment and sorting that may be necessary. As a result, the material flows could be optimally adapted to the exhaust air cleaning system in order to achieve high efficiency and separation efficiency. The automatic control of the shredder plant is designed to achieve the smoothest possible operation in order to reduce peak loads in terms of both energy consumption and emissions.

– **Ergebnisse/Project results**

Die Installation einer rein trocken arbeitenden Abluftreinigung, zeichnet sich durch einen hohen Abscheidegrad und eine sehr gleichmäßige Betriebsweise aus. In Verbindung mit der Vorkonditionierung der Stoffströme und der automatischen Steuerung, konnten die Emissionen in der Abluft pro Tonne Inputmaterial abhängig vom verarbeiteten Stoffstrom, von 95 % bei Staub und 74 % bei Gesamt-C reduziert werden. Weitere Emissionsparameter, sowie der Verbrauch an Wasser im Betrieb konnte auf nahezu 0 gesenkt werden. Der Stromverbrauch konnte bei ungefähr gleicher elektrischer Anschlussleistung um 28 % pro t Input verringert werden.

Die Nachkalkulation der ursprünglich anvisierten Amortisation erbrachte eine leichte Verbesserung von 0,5 %, das im Wesentlichen auf die bessere Durchsatzleistung zurückzuführen ist.

The installation of a purely dry exhaust air cleaning system is characterized by a high degree of separation and a very uniform mode of operation. In conjunction with the preconditioning of the material flows and the automatic control, the emissions in the exhaust air per ton of input material could be reduced from 95 % for dust and 74 % for total C, depending on the processed material flow. Other emission parameters, as well as the use of water, were reduced to almost zero. Electricity consumption could be reduced by 28 % per t input with approximately the same electrical connected load.

The recalculation of the originally targeted payback yielded a slight improvement of 0.5 %, which is mainly due to the improved throughput.

– **Ausblick/Prospects**

Grundsätzlich ist ein Einsatz dieser Technik bei allen Shredderanlagen möglich. Alle Zerkleinerungsaggregate, die zur Aufbereitung von metallischen Stoffströme betrieben

werden, können mit dieser Technik ausgestattet werden. Dies inkludiert neben den klassischen Shredderanlagen auch Querstromzerspaner und Mühlen.

Durch die reine trockene Abluftreinigung ist die Gefahr bei Verpuffungen jederzeit vorhanden. Auch wenn im gesamten Verlauf der Testphase, keine materialbedingten Brandereignisse oder Verpuffungen, aufgetreten sind, funktioniert diese Technik am sinnvollsten, bei einer intensiven Auseinandersetzung mit den Input Stoffströmen.

In principle, this technology can be used in all shredder plants. All shredding units that are operated for the processing of metallic material streams can be equipped with this technology. This includes not only the classic shredder plants but also cross-flow shredders and mills.

Due to the pure dry exhaust air cleaning, the risk of deflagration is always present. Even though no material-related fires or deflagrations occurred during the entire test phase, this technology works best when the input material flows are intensively dealt with.

6. Literatur

Das neue BVT Merkblatt Abfallbehandlung_2018_Butz

Pressemitteilung Nr. 015/20 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Trierischer Volksfreund Ausgabe 23.01.2020 Themen des Tages

Abschlussbericht Projekt EnoS IMR GmbH_2014_Adam

BREF für Großschredderanlagen_2012_BDSV

EU Durchführungsbeschluss über Schlussfolgerungen zu BVT_2018_Amtsblatt EU

Deutschlands Plan zur Energiewende wird Makulatur_2020_Welt+

7. Anhang

1_BDE Daten Shredder je Messtag

2_Energieverbräuche Shredder

3_Messung je Fraktion_1-5

4_Kurzanleitung_FID_Messgerät

a – Jahr

AwSV – Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen

BAT – Best available technique

BAT-AEL – achievable emission level (with application of the best available techniques)

BDSV – Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen e.V.

BVT – Beste verfügbare Technik

C-Gesamt – Summe aller Kohlenstoffverbindungen in der Abluft

CO² – Kohlenstoffdioxid

DIN – Deutsche Industrie Norm

dl-PCB – dioxinlike Polychlorierte biphenyle

DSD – Verpackungen aus dem Dualen System Deutschland

ElektroG – Elektro- und Elektronikgerätegesetz

EN – Europäische Norm

FID – Flammen Ionisationsdetektion

g - Gramm

h – Stunde

IPPC – Integrated Pollution Prevention and Control

K – Kelvin

kg – Kilogramm

KMF – künstliche Mineralfasern

kPa – kilo Pascal

KrWG – Kreiswirtschaftsgesetz

KVM – Kondiratorvormaterial

kW – Kilowatt

kWh – Kilowattstunde

l – Liter

LBauO – Landesbauordnung

LVP – Leichtverpackungen

m³ – Kubikmeter

MBA – mechanisch biologische Aufbereitung

MF – Mineralfasern

mg – Milligramm

Mio. – Millionen

PBDD/F - Polybromierte Dioxine/Furane

PCDD/F – Polychlorierte Dioxine/Furane

PS – Pferdestärken

rpm – rounds per minute / Umdrehungen pro Minute

t – metrische Tonne (Gewichtseinheit)

TA-Luft – Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz

t-Input – metrische Tonne bezogen auf den Input

TRwS – Technische Regeln wassergefährdender Stoffe

TVOC – total volatil organic carbon

VDE – Verband Deutscher Elektrotechniker

WHG – Wasserhaushaltsgesetz

€ - EURO