

Vacuum Distillation of Mill Scale, Grinding Dust and other Metal Containing Sludges for the Recovery of Metals, Oils and Lubricants

Reinhard Schmidt

Although hazardous waste can be reduced in industrial production, it cannot be avoided. The requirements of the German Kreislaufwirtschaftsgesetz (Circular Economy Act), that give priority to the recycling of waste over its disposal, are currently given too little consideration in the case of hazardous waste. This also applies to sludges containing metals. This results in a great potential for recycling technologies for the recovery of raw materials from metal sludges and to generate marketable products.

Today, vacuum distillation has proven itself as a thermal separation process especially for the desorption of hydrocarbons and mercury from soils and sludges and is used in many plants worldwide. These plants have a number of advantages over classical thermal oxidation or combustion. Last but not least, the recovery of resources, high energy efficiency, low emissions, full process control and proper balancing of all input and output materials are to be mentioned here. Through gentle thermal separation of the individual components of the contaminated material, 100 % recycling of all substances contained in the input material can ideally be achieved.

These advantages are of particular interest for the treatment of metal sludges contaminated with hydrocarbons and lubricants. When they are treated in vacuum thermics, recycling rates of 90 to 100 % are generally achieved. Further advantages result from the fact that the process takes place under an inert atmosphere and therefore metals are not oxidized, which is of decisive importance metallurgically during remelting. In recent years, the technology has proven itself for a number of different metal sludges. The importance of vacuum thermics in the field of high-quality metal sludges is currently increasing. In the areas of large quantities of base metal sludges (especially unalloyed steels), the further spread of the technology is still hampered today by existing, outdated disposal routes as well as political and structural undesirable developments in the disposal of metal sludges. In the medium term it is to be expected that vacuum distillation will also establish itself here.

Vakuumdestillation von Walzzunder, Schleifstaub und anderen, metallhaltigen Schlämmen zur Rückgewinnung der Metalle, Öle und Schmierstoffe

Reinhard Schmidt

1.	Einleitung	366
1.1.	Ursprung und heutige Verbreitung der Vakuumdestillation im Abfallsektor	366
1.2.	Marktumfeld	367
1.3.	Metallschlamm-Mengen in Deutschland	368
2.	Die Vakuumdestillation in der Behandlung von Sonderabfällen	369
2.1.	Verfahrensbeschreibung der Vakuumdestillation	369
2.2.	Vakuumdestillation zur Behandlung von Metallschlämmen.....	370
2.3.	Anwendungsbereiche und Limitierungen	372
2.4.	Vakuumthermische Behandlung von Metallschlämmen in der Praxis.....	373
3.	Nachhaltigkeit als Leitziel bei der Behandlung metallhaltiger Sonderabfälle	373
4.	Schlussfolgerung	376
5.	Quellen	377

Gefährliche Abfälle können in der industriellen Produktion zwar reduziert, aber nicht vermieden werden. Die Vorgaben aus dem Kreislaufwirtschaftsgesetz, die der Verwertung von Abfällen gegenüber der Beseitigung Vorrang einräumen, finden derzeit bei den gefährlichen Abfällen zu wenig Beachtung. Dies gilt auch für metallhaltige Schlämme. Daraus ergibt sich ein großes Potential für Recyclingtechnologien zur Rückgewinnung von Rohstoffen aus Metallschlämmen, die vermarktbare Produkte generieren.

Heute hat sich die Vakuumdestillation als thermisches Trennverfahren insbesondere zur Desorption von Kohlenwasserstoffen und Quecksilber aus Böden und Schlämmen bewährt und ist in vielen Anlagen weltweit im Einsatz. Diese Anlagen weisen eine Reihe von Vorteilen gegenüber der klassischen thermischen Oxidation oder Verbrennung auf. Nicht zuletzt sind hier die Rückgewinnung von Ressourcen, hohe Energieeffizienz, niedrige Emissionen, volle Prozesskontrolle und ordentliche Bilanzierung aller Eingangs- und Ausgangsstoffe zu nennen. Durch eine schonende thermische Separierung der einzelnen Bestandteile des belasteten Materials kann im Idealfall die hundertprozentige Wiederverwertung aller im Eingangsmaterial enthaltener Stoffe erreicht werden.

Diese Vorteile sind insbesondere für die Behandlung von Metallschlämmen interessant, die mit Kohlenwasserstoffen und Schmiermitteln verunreinigt sind. Bei deren Behandlung in der Vakuumthermik werden in der Regel Recyclingquoten von 90 bis 100 Prozent realisiert. Weitere Vorteile ergeben sich dadurch, dass der Prozess unter inerter Atmosphäre stattfindet, und dadurch Metalle nicht oxidiert werden, was metallurgisch beim Wiedereinschmelzen von entscheidender Bedeutung ist. In den letzten Jahren hat sich die Technik für eine Reihe verschiedener Metallschlämme bewährt. Derzeit nimmt die Bedeutung der Vakuumthermik im Bereich hochwertiger Metallschlämme zu. In den Bereichen der großen Mengen unedlerer Metallschlämme – insbesondere unlegierte Stähle – wird die weitere Verbreitung der Technik heute noch durch bestehende, veraltete Entsorgungswege sowie politische und strukturelle Fehlentwicklungen bei der Metallschlammabeseitigung erschwert. Mittelfristig ist damit zu rechnen, dass sich die Vakuumdestillation auch hier etablieren wird.

1. Einleitung

1.1. Ursprung und heutige Verbreitung der Vakuumdestillation im Abfallsektor

Die Behandlung von Sonderabfällen mittels Vakuumdestillation ist im Bereich flüssiger Abfälle seit vielen Jahrzehnten bekannt. Erst vor etwa 20 Jahren wurde damit begonnen, dieses Verfahren auch für die Behandlung fester und pastöser, gefährlicher Abfälle einzusetzen. Anfangs wurden statische Vakuumöfen zum Verdampfen der Schadstoffe verwendet. Die Etablierung dieser Systeme im industriellen Maßstab wurde dabei durch den schlechten Wärmeübergang in statischen Systemen erschwert, insbesondere bei feinkörnigem, feuchtem Material.

Den wirtschaftlichen Durchbruch für die industrielle Behandlung von Sonderabfällen mittels Vakuumdestillation brachte der Einsatz von indirekt beheizten Vakuumtrocknern. Diese mit langsam rotierenden Mischwerkzeugen arbeitenden Apparate ermöglichen einen effizienten Wärmeübergang, was die Möglichkeit eröffnet hat, Abfälle im industriellen Maßstab wirtschaftlich zu verwerten.

Der erste großtechnische Einsatz einer Vakuumdestillationsanlage für Feststoffe erfolgte Anfang der 90er Jahre während der Bodensanierung der Chemischen Fabrik Marktredwitz. Was damals als innovative Lösung in der Altlastenindustrie galt, wird heute weltweit erfolgreich eingesetzt. Die Anlagentechnik wurde seit dem ersten Einsatz kontinuierlich weiterentwickelt und Energieeffizienz, Zuverlässigkeit und Durchsatz stets verbessert. Die Vakuumdestillation bei der Bodenbehandlung, insbesondere für Quecksilberbelastungen, ist heute u.a. von der UNEP, als *beste verfügbare Technik* (Best Available Technology) anerkannt und gefragt [4]. Böden mit hoher Belastung werden so emissionsarm und energieeffizient von Schadstoffen befreit.

Auch ölhaltige Feststoffe und Schlämme werden international zunehmend durch die *Indirect Heated Thermal Desorption* – also die thermische Stofftrennung – verarbeitet. Das fortschrittlichste und zugleich vielseitigste Verfahren dieser indirekt beheizten, thermalen Desorption ist die Vakuumdestillation.

1.2. Marktumfeld

In Deutschland werden noch immer über 90 % der pastösen und festen, gefährlichen Abfälle in Deponien endgelagert oder in Sonderabfallverbrennungsanlagen entsorgt. Dies gilt auch für metallhaltige Schlämme. Für diesen Entsorgungsweg hat der Gesetzgeber im Kreislaufwirtschaftsgesetz KrWG den Begriff *Beseitigung* vorgesehen. Die Begriffswahl ist allerdings unglücklich und irreführend, da dieser Begriff suggeriert, dass es bei diesem Entsorgungsweg zu einer finalen Elimination der Abfälle und damit einhergehender Probleme kommt. De facto führt die *Beseitigung* häufig aber gerade nicht zu einer Elimination der Abfälle und damit einhergehender Umweltbelastungen. Vielmehr handelt es sich um eine Verlagerung der Probleme auf spätere Generationen, da Deponien und Endlager immer ein Risiko für zukünftige Generationen darstellen und meist mit Ewigkeitslasten einher gehen.

Im Fall der Verbrennung ist vor diese Endlagerung lediglich die chemische Umwandlung durch Oxidation zwischengeschaltet. Diese erzeugt einerseits einen aufwendig zu reinigenden, hochbelasteten Abgasstrom, aus dem u.a. der kontaminierte Filterstaub abgeschieden und endgelagert werden muss. Zudem entsteht zumeist Asche, die ebenfalls als Sonderabfall endgelagert wird. Weder die Deponierung noch die Verbrennung *beseitigen* also Sonderabfälle, es findet bestenfalls eine Umwandlung vor der Endlagerung statt.

Im Falle der Mitverbrennung von Metallschlämmen bei der Zementherstellung gelangen ungewollt eine Vielzahl unterschiedlicher Metalle in stetig variierender Zusammensetzung in das Produkt Zement. Dies führt dazu, dass die Materialeigenschaften des Zements negativ beeinflusst werden können und zudem wertvolle Metalle dem industriellen Kreislauf dauerhaft entzogen werden. Zudem erhöht dies die Emissionen bei der Zementherstellung. Durch strenger werden Emissionsgrenzwerte und steigende Produkthanforderungen wird sich dieser Entsorgungsweg vermutlich in den nächsten Jahren schließen.

Wegen der erheblichen Werte, die in diesen Abfällen enthalten sind, gab es stets den Ansatz zur Wiederverwertung. Die Deponierung metallhaltiger Schlämme hat insofern bereits seit Jahren abnehmende Bedeutung. Bisher werden beim Recycling zwei Grundprinzipien unterschieden

- Oxidation und
- Extraktion.

Beide Varianten führen dazu, dass Oxide und Verunreinigungen die Qualität der zurückgewonnenen Metalle vermindern (Downcycling) und diese nur anteilig einer Wiederverwertung zugeführt werden können. Kohlenwasserstoffe als typische Verunreinigung der o.g. Abfälle werden mit diesen Verfahren vorrangig zerstört und nicht recycelt.

Die Etablierung neuer, innovativer und umweltfreundlicher Lösungen für die Verwertung von Sonderabfällen wird in Deutschland auf Grund eines hohen Bestands an abgeschriebenen und oft veralteten Deponien und Verbrennungsanlagen erschwert.

Öffentliche Verwaltung und Regierungsbehörden sind mangels Personalausstattung überfordert bei der Einführung neuer innovativer Verfahren, was die bestehenden und oft nicht mehr zeitgemäßen Strukturen stützt. Private Investoren müssen nicht nur die ohnehin komplizierten Genehmigungsverfahren für Neuanlagen durchlaufen und die Verwertbarkeit ihrer Recyclingprodukte beweisen. Sie stehen zudem auch noch wirtschaftlich im Wettbewerb zu den etablierten Altanlagen, die heute so nicht mehr genehmigungsfähig wären und nur auf Grund des Bestandschutzes noch betrieben werden dürfen.

Vergangenheit und Gegenwart zeigen leider, dass bei der Abfallentsorgung die Entscheidung fast immer zugunsten der kurzfristig billigsten Lösung fällt. Die niedrigen Beseitigungskosten in alten Anlagen mit überholter Technik, die lediglich Bestandsschutz genießen, sind kaufmännisch verlockend. Die ökologischen und sozialen Auswirkungen werden dabei außer Acht gelassen, obwohl diese zum Teil beträchtlich sind: Anstatt die gefährlichen Abfälle dezentral und nahe am Entstehungsort zu recyceln, werden Bewohner und Umwelt mit erhöhtem Verkehrsaufkommen, Abgasen, Lärm und dem Risiko einer Havarie belastet. In die zentrale Sonderabfall-Beseitigungsanlagen fahren somit heutzutage bis zu 100 Lkw pro Tag mit durchschnittlich mehreren hundert Kilometern Anreise.

1.3. Metallschlamm-Mengen in Deutschland

Dass eine nachhaltigere Entsorgung von Metallabfällen ökonomisch, ökologisch und sozial relevant ist ergibt sich bereits aus der bloßen Menge dieser Abfälle und der Bedeutung der Branchen, in denen sie entstehen, für die deutsche Wirtschaft. Feste und pastöse, gefährliche Abfälle mit Metallanteilen (außer Stückschrott) fallen in Deutschland in einer Größenordnung von rd. 200.000 Tonnen jährlich vorrangig in folgenden Bereichen an:

- Werkzeugherstellung,
- Automobilindustrie,
- Luftfahrt,
- Metallverarbeitung,
- Gießereien und
- Stahlwerke.

Diese Abfälle können wie folgt unterschieden werden

- Schleifschlamm,
- Metallpulver,
- Filterstäube,
- Filterkuchen,
- Metallstaub,
- Walzzunder sowie
- Presskuchen

und beinhalten vorrangig

- Stähle (Fe),
- Metalllegierungen (Cr-, Ni-basiert),
- NE Metalle (Cu, Ni),
- Hartmetalle (W) und
- Schnellarbeitsstähle (Mo, Cr).

2. Die Vakuumdestillation in der Behandlung von Sonderabfällen

2.1. Verfahrensbeschreibung der Vakuumdestillation

Als Destillationsverfahren setzt die Vakuumdestillation auf den individuellen Siedepunkt jeder chemischen Verbindung. Eine Vakuumpumpe senkt den Druck im Trockner auf bis zu 50 Millibar (abs.). In einem solchen Vakuum sinken die Siedepunkte aller Stoffe beträchtlich. So geht etwa Wasser nun schon bei 33 °C in die Gasphase über, während es unter Normaldruck (1.013,25 Millibar) erst bei 100 °C siedet. Das Vakuum verringert den Energieaufwand für die Schadstoffabscheidung enorm. Bei einer Materialtemperatur von nur 370 °C können somit Schadstoffe mit einem Siedepunkt von bis zu 500 °C entfernt werden.

Kern des Verfahrens ist ein spezieller Vakuumtrockner, der aus einem horizontalen, zylindrischen Behälter besteht, in dessen Innern eine beidseitig gelagerte Welle langsam rotiert. Im Mantel des Trockners und in der Zentralwelle zirkuliert ein temperaturbeständiges, synthetisches Öl, das die Trocknerkammer aufheizt. Die rotierende Zentralwelle sorgt für eine gründliche Durchmischung während des Prozesses und gewährleistet eine hocheffiziente Wärmeübertragung auf das Produkt. Die dadurch möglichen, kurzen Batch-Zeiten sparen sowohl Energie als auch Zeit.

Die Wärmeenergie für den Vakuumtrockner wird durch eine Thermalöl-Heizeinheit bereitgestellt. Diese Einheit kann mit beliebigen primären oder sekundären Brennstoffen betrieben werden. Am häufigsten verwendet werden Erdgas und Heizöl, wobei die



Bild 1: Typische Vakuumdestillationsanlage für Schlämme

Beheizung mit Strom oder regenerativen Brennstoffen möglich ist. Das Thermalöl, das in der Vakuumtrocknern zirkuliert, ist temperaturfest bis 400 °C. Höhere Temperaturen sind mit anderen Heizmedien möglich.

Die verdampften Stoffe, bestehend aus Wasser und Schadstoffen, werden über einen Filter geführt, um Staub oder andere unerwünschte Partikel im Trockner zurückzuhalten. In der darauffolgenden Kondensationseinheit kondensieren sie an speziell entwickelten Wärmetauschern

und werden als separate Flüssigkeiten wiedergewonnen. Leichtflüchtige Schadstoffe und eventuell verbleibende kleine Flüssigkeitströpfchen werden von einem Abluftkühler und Tröpfchenabscheider entfernt.

Die restlichen Brüden passieren eine leistungsstarke Vakuumeinheit. Bevor sie schließlich in die Atmosphäre entlassen werden, befreit sie ein Aktivkohlefilter von verbliebenen Schadstoffen. Vakuumprozess und Abgasbehandlung verringern den Schadstoffausstoß der Anlage auf ein absolutes Minimum. Eine Abgaswäsche oder Nachverbrennung wird nicht benötigt. Der spezifische Volumenstrom aus dem Prozess liegt bei max. 100 Nm³/h je Tonne Eingangsmaterial und besteht i.d.R. zu über 95 % aus Stickstoff. Die Menge des eigentlichen Prozessabgases beträgt somit weniger als 1 % der spezifischen Abgasmenge einer Sonderabfallverbrennung. Weniger Abgasvolumenstrom hat immer auch eine entsprechend niedrigere Schadstofffracht zur Folge, weil in den hiesigen Genehmigungen i.d.R. die Konzentrationen der Schadstoffe im Abgas betrachtet werden und weniger deren absolute Schadstofffrachten.

Nach Abschluss einer Trocknungscharge wird das gereinigte, heiße Material in einen gekapselten Kühlbunker ausgetragen. Dadurch kann der nächste Batch ohne Zeitverzug gestartet werden. Das heiße Material wird in Schneckenförderern indirekt abgekühlt und anschließend aus der Anlage ausgeschleust. Bei Bedarf kann der Output in einem kleinen, kontinuierlich arbeitenden Mischer befeuchtet, verfestigt oder brikettiert werden.

Für den Betrieb der Anlage wird Druckluft zur Steuerung und – bei der Behandlung von Kohlenwasserstoffen – Stickstoff zur Inertisierung benötigt. Diese Stickstoffüberlagerung ist aus Sicherheitsgründen notwendig, um der Brand- oder Explosionsgefahr vorzubeugen. Außerdem verhindert sie eine Oxidierung des Feststoffs und Kondensats, was insbesondere bei metallischen Abfällen zu einer deutlich besseren Qualität der recycelten Metalle führt im Vergleich zur oxidativen Behandlung.

Dank des Chargenbetriebs besteht volle Kontrolle über den Prozess, der von einem Kontrollraum aus über einen PC gesteuert und überwacht wird. Alle wichtigen Betriebsparameter wie Heiztemperatur, Druck, Füllstände usw. werden kontinuierlich aufgezeichnet und angezeigt. Ein überragendes Merkmal ist dabei eine hundertprozentige Nachvollziehbarkeit aller ein- und ausgehenden Mengen. Die intelligente Verknüpfung von weiterentwickelter Maschinenteknik, neuartigen Mess- und Auswertungsverfahren sowie einer lückenlosen Dokumentation mit Online-Verfügbarkeit aller relevanten Betriebsdaten garantiert allen Beteiligten inklusive den Behörden eine vorschriftsmäßige Umwandlung bzw. Trennung des Eingangsmaterials in ungefährliche bzw. leicht wiederverwertbare oder zu entsorgende Fraktionen.

2.2. Vakuumdestillation zur Behandlung von Metallschlämmen

Bei der Behandlung von Metallschlämmen sind Vakuumdestillationsanlagen typischerweise wie folgt aufgebaut.

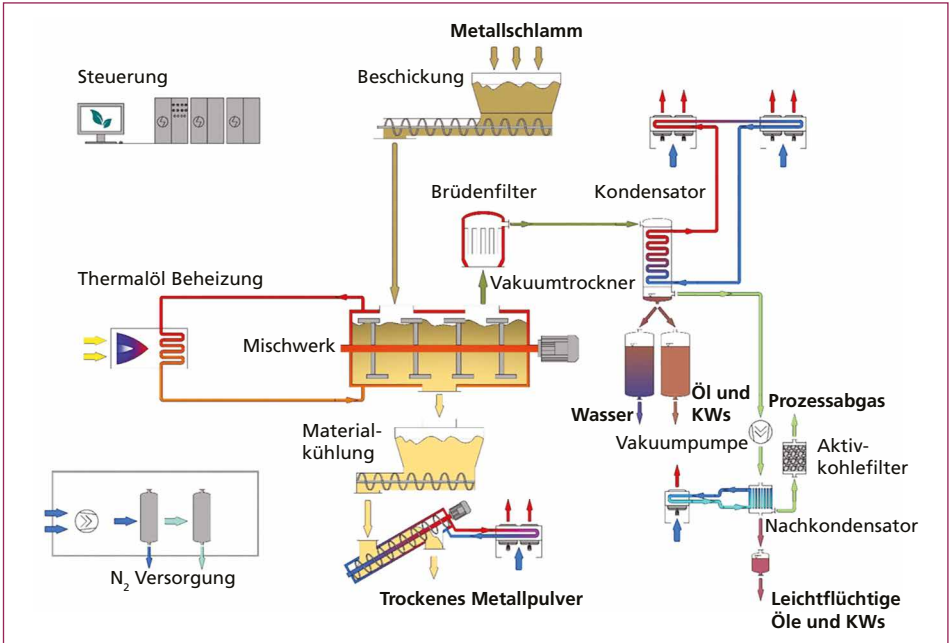


Bild 2: Fließschema einer Vakuumdestillationsanlage vom Typ VacuDry

Typischerweise ergeben sich folgende Stoffströme bei der Metallschlammaufbereitung mittels Vakuumdestillation

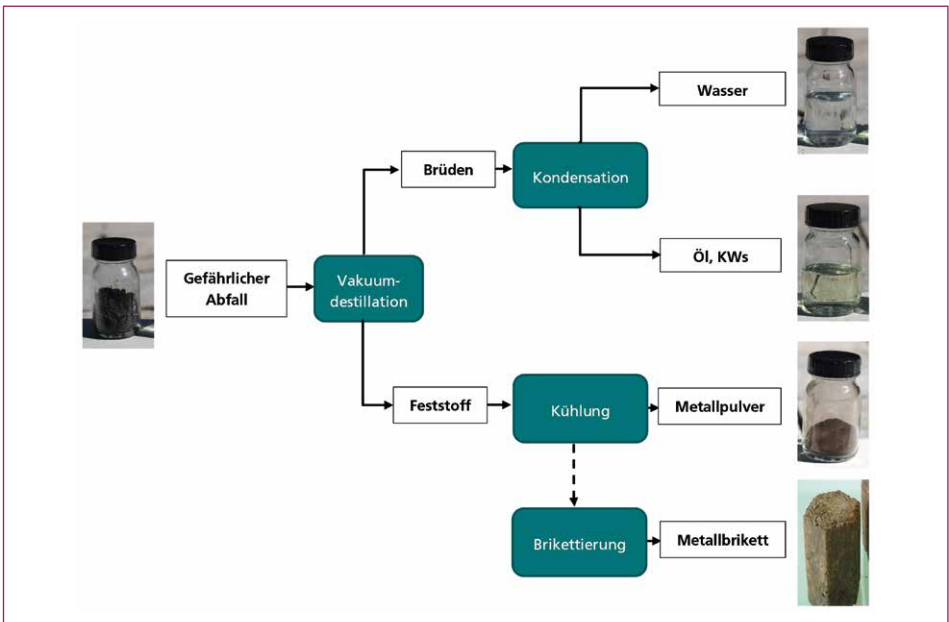














Bild 3: Produkte und Teilprozesse der Vakuumdestillation von Metallschlämmen

Tabelle 1: Typische Produkte und Verwertungswege verschiedener Metallschlämme aus der Vakuumdestillation

Eingangsmaterial	Eingangsmaterial MKW Gehalt %	Behandeltes Material MKW Gehalt %	Eingangsmaterial	Erzeugtes metallisches Produkt	Verwertung Metall	Verwertung Kohlenwasserstoffe	Land
Schleifschlamm Normalstahl; hochviskos	23	< 0,0007			Schmelze	Sekundärbrennstoff	GBR
Schleifschlamm Normalstahl	28	< 0,01			Brikettierung → Schmelze	Verwertung in Raffinerie	DEU
Schleifschlamm, Cr-haltige Legierung	11	< 0,05			Schmelze	Verwertung in Raffinerie	DEU
Walzzunder	9,8	< 0,1			Schmelze	Sekundärbrennstoff	ESP
Aluminiumhaltiger Filterkuchen	44	0,01			Recycling	Wiederverwertung als Produkt (Walzöl)	DEU
Presskuchen Hartstahl Werkzeugherstellung	8	< 0,5			Nasschemische Rückgewinnung der einzelnen Metalle	Sekundärbrennstoff	k.A.

Die wirtschaftliche Aufbereitung von Metallschlämmen mittels Vakuumdestillation hängt im Wesentlichen von zwei Faktoren ab:

- Annahmehöhe/Preise alternativer Entsorgungswege und
- Wert zurückgewonnener Stoffe.

Daraus folgt, dass die Wirtschaftlichkeit stark vom jeweiligen Abfallstrom abhängt. Generell gilt, dass sich bei hochwertigen, metallischen Abfällen eine Aufbereitung in Anlagen mit einer Jahreskapazität von 1.000 bis 5.000 Tonnen lohnt. Bei Abfällen, bei denen die Wiederverwertung nur einen kleinen Beitrag zur Kostendeckung leistet, sind in der Regel jährliche Durchsätze von über 10.000 Tonnen für den wirtschaftlichen Betrieb notwendig.

2.3. Anwendungsbereiche und Limitierungen

Nach heutigem Stand der Technik sind zwei entscheidende, technische Kriterien bekannt, die eine Abscheidung von Schadstoffen mittels Vakuumdestillation erlauben:

1. Siedepunkte der Schadstoffe liegen bei max. 500 °C (unter atmosphärischen Bedingungen), was zur unmittelbaren Schadstoffentfrachtung mittels Verdampfen führt.

2. Chemischen Verbindungen der Schadstoffe werden bei max. 350 °C zerstört und die schädlichen Teile der früheren Verbindung verdampfen.

Hier ist wichtig zu betonen, dass es sich hier um Erfahrungswerte aus über 15 Jahren Anlagenbetrieb und dem heutigen Stand der Technik handelt. Einer Weiterentwicklung zu höheren Temperaturen steht technisch nichts im Wege.

Einschränkungen der Vakuumdestillation hinsichtlich Schadstoff-, Wasser- oder Feststoffgehalten gibt es nicht. Aus Überlegungen der Wirtschaftlichkeit heraus kann eine mechanische Vorbehandlung der Abfälle mittels Filterpresse oder Zentrifuge sinnvoll sein.

2.4. Vakuumthermische Behandlung von Metallschlämmen in der Praxis

Seit dem Jahr 2010 besteht am Standort Bitterfeld-Wolfen die erste Vakuumdestillationsanlage in Deutschland, die sich mit 30 Mitarbeitern überwiegend auf die Behandlung metallhaltiger Schlämme fokussiert hat. Die Cronimet Envirotec GmbH nimmt die Schlämme zur Verwertung an oder betreibt Lohnaufbereitung für Abfallerzeuger. Ziel ist *Wertschöpfung durch Rückgewinnung*:

- Schonung von Ressourcen – Urban Mining statt Primär-Abbau hält die Ressourcen im Kreislauf und ist nachhaltig;
- Wertschöpfung – Optimierung der Abfallbilanz und maßgeschneiderte Lösungen;
- Festigkeit und Qualität – durch inerte Prozesse wird die Qualität der Materialien beibehalten und Produktstatus erreicht;
- Energieeffizienz – Sinkender absoluter Energieeinsatz trotz steigender Tonnage.

Mit der Jahreskapazität von 20.000 Tonnen deckt das Unternehmen etwa 10 % des deutschen Marktpotentials des in dieser Anlage recyclingfähigen Materials ab. Dass sich die am Standort eingesetzte Technik nicht auch für die übrigen 90 % des geeigneten Materials durchsetzt, liegt u.a. daran, dass sich weniger nachhaltige Verfahren nur sehr langsam verdrängen lassen, wenn deren Betrieb nicht wegen der Verfügbarkeit besserer Technik untersagt wird.

3. Nachhaltigkeit als Leitziel bei der Behandlung metallhaltiger Sonderabfälle

Nachhaltigkeit als Leitziel

Seit die UN-Weltkommission für Umwelt und Entwicklung (Brundtland-Kommission) 1983 den Begriff der Nachhaltigkeit formte, wurde eine Vielzahl von Konzepten entwickelt, die es erlauben, Prozesse auf ihre Nachhaltigkeit hin zu prüfen bzw. Entscheidungen im Sinne der Nachhaltigkeit zu treffen. Nachhaltigkeit bedeutet, dass ökologische, ökonomische und soziale Ziele nicht gegeneinander ausgespielt, sondern gleichrangig angestrebt werden [2]. Nach dieser wäre es also falsch, die Entscheidung für die Behandlung von gefährlichen Abfällen nur auf ökonomische Faktoren zu stützen.

Gängige Methoden zur Beurteilung der Nachhaltigkeit sind wie folgt [1]:

- Mehrkriterienanalyse,
- Kosten-Nutzen Analyse,
- Kosten-Effektivitäts Analyse und
- Ökobilanz (Life Cycle Assessment).

Alle diese Methoden gehen über eine reine Kostenbetrachtung hinaus und sind dieser deshalb vorzuziehen. Diese Methoden lassen sich hervorragend auf die Sonderabfallbehandlung übertragen. Am konkreten Beispiel der metallhaltigen Sonderabfälle wird im Folgenden erläutert, warum aufgrund der vorstehenden Methoden die Einführung neuer Technologie geboten ist. Auf die komplexe Darstellung und Bewertung der Datenbasis nach vorstehenden Methoden wurde im Rahmen dieses Fachaufsatzes verzichtet.

Anforderungen des Kreislaufwirtschaftsgesetzes

Nachfolgend ein Zitat von der Internetseite des Umweltbundesamtes:

Als Kernelement verankert das KrWG in § 6 die fünfstufige Abfallhierarchie [...]. Danach gilt grundsätzlich folgende Rangfolge unter den Abfallbewirtschaftungsmaßnahmen:

- *Vermeidung,*
- *Vorbereitung zur Wiederverwendung,*
- *Recycling,*
- *sonstige Verwertung, insbesondere energetische Verwertung und Verfüllung,*
- *Beseitigung.*

Ausgehend von diesem Grundsatz ist die Maßnahme zur Abfallbewirtschaftung auszuwählen, die den Schutz von Mensch und Umwelt am besten gewährleistet. Zu berücksichtigen sind dabei technische, wirtschaftliche und soziale Gesichtspunkte.

Aufgrund der Verfügbarkeit neuer Technologien darf bezweifelt werden, dass die überwiegende Verbrennung und Deponierung von gefährlichen Abfällen heute noch immer die Maßgaben des KrWG erfüllt. Einer der verfügbaren und zuverlässigen Technologien ist nun die vakuumthermische Behandlung für feste und pastöse Abfälle, die in Zukunft eine wichtige Rolle einnehmen wird.

Transport

Gerade in der metallverarbeitenden Industrie achten weltweit tätige Großunternehmen heute zunehmend auf ihren ökologischen Fußabdruck. Dabei spielt die Vermeidung von Transporten eine wichtige Rolle.

Die Entscheidung, ob eine Sonderabfallbehandlung vor Ort – am Entstehungsort der Abfälle – durchgeführt werden soll oder ob das kontaminierte Material abtransportiert und an einem anderen Standort behandelt oder entsorgt werden soll, hat oft großen Einfluss auf die Nachhaltigkeit der Sonderabfallbehandlung.

Falls die Behandlung nicht dezentral am Standort durchgeführt werden kann, muss das Material zum Teil über weite Strecken zum Dienstleister transportiert werden. Neben dem CO_2 -Ausstoß bei jedem gefahrenen Kilometer sind noch weitere Faktoren wichtig, wie das erhöhte Verkehrsaufkommen, die damit verbundene Belastung der Anwohner durch Lärm und der erhöhten Unfallgefahr, die Gefahr eines unkontrollierten Austritts des kontaminierten Materials bei einem Unfall, gesundheitliche Risiken beim Umladen usw. Eine bessere Ökobilanz verzeichnet der Transport mit Schiff und Bahn, soweit dies durch die entsprechende Infrastruktur möglich ist.

Deponierung oder Behandlung

Bei der Deponierung, auf eigenem Gelände oder extern, sind neben dem Transport auch der Flächen- bzw. Deponieraumverbrauch sowie die Langzeitauswirkungen des deponierten Materials zu betrachten. Da die deponierten Abfälle weiterhin mit Schadstoffen belastet sind, besteht die Gefahr der Remobilisierung oder anderweitiger Freisetzung der Schadstoffe. Zum Beispiel können durch Risse im Deponieboden flüssige Schadstoffe ins umliegende Erdreich und ins Grundwasser gelangen. Oft wird eine spätere Sanierung der Deponie nötig, wenn nach vielen Jahren die Deponiefläche für andere Zwecke benutzt werden soll oder sich die Gesetzgebung ändert. Dies gilt auch, wenn sich später z.B. durch neue, toxikologische Erkenntnisse herausstellt, dass der Boden aufgrund seiner Schadstoffbelastung eigentlich in einer höheren Deponieklasse hätte eingelagert werden müssen.

Art der Behandlung

Bei einer thermischen Behandlung muss der Energieaufwand und der damit verbundene CO_2 -Ausstoß betrachtet werden, da sie i.d.R. die energieintensivste Aufbereitungsart ist. Oft wird in der Diskussion vernachlässigt, dass sich der spezifische Energiebedarf der verschiedenen thermischen Verfahren aber deutlich unterscheidet. Eine thermische Oxidation stößt ein Vielfaches an CO_2 pro Tonne Eingangsmaterial aus als eine vakuumthermische Behandlung unter inerter Atmosphäre, da die Oxidation neben dem erhöhten Brennstoffverbrauch auch die Zerstörung der im Abfall enthaltenen Kohlenwasserstoffe zur Folge hat. Dazu kommt die aufwendige Abgasreinigung, die bei einem vakuumthermischen Verfahren aufgrund der Destillation und anschließendem Kondensieren der Schadstoffe nicht benötigt wird.

Weiterverwendung des behandelten Materials

Für die Wiederverwendung von Metallen aus Metallschlämmen sind zwei entscheidende Kriterien maßgeblich:

- Menge oxidiertes Anteile und
- Verunreinigung mit Kohlenwasserstoffen.

Beim Einsatz eines oxidativen Verfahrens muss im Sinne der Nachhaltigkeit der später Aufwand für die Reduktion berücksichtigt werden. Verbleibende Verunreinigungen von Kohlenwasserstoffen schränken aus metallurgischen Gründen bei nicht-thermischen Aufbereitungsverfahren die Verwertungsquote erheblich ein, was dazu führt, dass hier i.d.R. Recyclingmaterial nur als Beimischung zu Rohmaterial eingesetzt werden kann.

Betrachtung der CO₂ Bilanzen verschiedener thermischer Aufbereitungsverfahren

Aufgrund der indirekten Beheizung mittels einer effizienten Kesselanlage, der vollständigen Isolierung der Verrohrung und des Trockners und der homogenen Umwälzung der Schlämme im Trockner hat eine moderne Vakuumdestillationsanlage eine Energieeffizienz von über 80 %. Das heißt, dass 80 % der Energie, die im Energieträger (z.B. Erdgas) enthalten ist, an das zu behandelnde Material als Wärmeenergie abgegeben wird.

Ein weiterer Grund für die hohe Energieeffizienz ist die Verdampfung im Vakuum. Das Vakuum setzt den Verdampfungspunkt des Wassers und der Schadstoffe herab, so dass eine niedrigere Materialtemperatur ausreicht, um Schadstoffe aus dem Material zu verdampfen. Durch das Vakuum entstehen außerdem keine Energieverluste durch die Erhitzung von Zuluft, wie es bei einer thermisch-oxidativen Aufbereitung geschieht.

Ein Beispiel dazu ist in Tabelle 2 gezeigt. Nimmt man eine Tonne Metallschlamm mit 15 % Feuchte und 5 % Mineralölkohlenwasserstoffen, so benötigt man unter Einsatz der Vakuumtrocknung etwa 196 kWh (etwa 16,7 m³ Erdgas) thermische Energie um diesen zu reinigen. Um dasselbe Material mittels einer thermischen Oxidation zu behandeln, benötigt man etwa 1.581 kWh, oder etwa 142,5 m³ Erdgas. Ein Großteil dieser Energie geht durch eine schlechte Wärmeübertragung von der Befeuerung an das Material, die prozessbedingte Überhitzung des Wasserdampfes, die schlechte oder fehlende Isolierung sowie über die heißen Abgase verloren.

Bei der Vakuumdestillation fallen die Verbrennungsabgase und die Prozessabgase getrennt an. Zusätzlich zu den bei der Verbrennung von Erdgas entstehenden Emissionen beschränken sich die Prozessabgase auf die nicht kondensierten Brüden, den Stickstoff aus der Inertisierung und die Leckrate des Vakuumtrockners. Die gesamte Abgasmenge pro Tonne beträgt somit etwa 243 m³ wobei weniger als 1 m³ aus gereinigten Prozessabgasen besteht. Im Gegensatz dazu fallen bei einer Oxidation im Drehrohr die Prozess- und Verbrennungsabgase zusammen an. Dazu kommt, dass der Brenner und die Nachverbrennung üblicherweise mit Luftüberschuss gefahren werden. Ein permanenter Unterdruck von etwa 2 mbar im Drehrohr erzeugt zusätzliche Nebenluft. Das gesamte Abgasvolumen summiert sich somit auf 4.873 m³ pro Tonne.

Tabelle 2: Energieverbrauch und entstehendes Abgasvolumen von einer Tonne Metallschlamm mit Wassergehalt 15 % und MKW Gehalt 5 % bei der Reinigung mittels Vakuumdestillation und thermischer Oxidation im Vergleich; Daten beruhen auf Erfahrungswerten

	Energieverbrauch kWh	Gasverbrauch m ³	Abgasvolumen m ³
Vakuumdestillation	196	16,7	243
Thermische Oxidation	1.581	142,5	4.873

Annahmen: Heizwert Erdgas: 11,1 kWh / m³; Dichte Erdgas: 0,8 kg/m³

4. Schlussfolgerung

Die Vakuumthermische Behandlung von Metallschlämmen ist technisch ausgereift und zeichnet sich durch hohe Recyclingquoten, niedrige Energieverbräuche und niedrige Betriebskosten aus. Weltweit wurden in den letzten 20 Jahren Anlagen im industriellen Maßstab gebaut und werden erfolgreich betrieben.

Insbesondere bei hochwertigen Metallschlämmen geht der Trend zu einem stofflichen Recycling mittels Vakuumdestillation. Dies kann unmittelbar im Produktionsbetrieb als auch bei dezentralen Recyclingbetrieben durch einen Dienstleister geschehen. Die treibende Kraft sind hierbei in erster Linie die Wertschöpfung der zurückgewonnenen Recyclingmaterialien und firmenpolitische Vorgaben zur Nachhaltigkeit.

Im Bereich weniger wertvoller Metallschlämme wurden in Deutschland trotz großer Abfallmengen bis jetzt erst wenige Anlagen in diesem Bereich realisiert. Grund hierfür ist in erster Linie, dass trotz eindeutiger Anforderungen des Kreislaufwirtschaftsgesetzes das stoffliche Recycling vernachlässigt und veraltete Entsorgungsstrukturen genutzt werden. Dies erschwert es Firmen, sich mit innovativen und umweltfreundlichen Lösungen zu etablieren. Zudem müssen neue Anlagen deutlich strengere Auflagen erfüllen als Anlagen und Deponien die unter Bestandsschutz stehen, was die Investitionskosten erhöht und den Einstieg erschwert. Dies führt dazu, dass veraltete Anlagen – die so heute nicht mehr genehmigungsfähig wären – am Leben gehalten werden, während moderne und umweltfreundliche Lösungen wie die Vakuumdestillation verhindert werden. Um die stoffliche Recyclingquote zu erhöhen, die Umweltbelastung durch diese Abfälle zu reduzieren und nachhaltige Lösungen zu etablieren, sind sowohl Abfallerzeuger als auch Politik und Behörden gefordert, Maßnahmen zu ergreifen, um Fehlentwicklungen der letzten Jahrzehnte zu beheben.

5. Quellen

- [1] Brinkhoff, P.: Multi-Criteria Analysis for Assessing Sustainability of Remedial Actions – Applications in Contaminated Land Development. Göteborg: Chalmers University of Technology, Report No. 2011:14, 2011
- [2] Hauff, V.: Unsere gemeinsame Zukunft – Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung. Eggenkamp Verlag: 1987
- [3] Thiele, R.: Unternehmenspräsentation der Cronimet Envirotec GmbH, 2019
- [4] UNEP United Nations Environment Programme: Practical sourcebook on mercury waste storage and disposal, 2015



Ansprechpartner

Reinhard Schmidt
econ industries services GmbH
Schiffbauerweg 1
82319 Starnberg, Deutschland
+49 8151 4463770
r.schmidt@econindustries.com

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar

Stephanie Thiel, Elisabeth Thomé-Kozmiensky,
Thomas Pretz, Dieter Georg Senk, Hermann Wotruba (Hrsg.):

Mineralische Nebenprodukte und Abfälle 6
– Aschen, Schlacken, Stäube und Baurestmassen –

ISBN 978-3-944310-47-3 Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH

Copyright: Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc., Dr.-Ing. Stephanie Thiel
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH • Neuruppin 2019
Redaktion und Lektorat: Dr.-Ing. Stephanie Thiel, Dr.-Ing. Olaf Holm,
Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc.
Erfassung und Layout: Elisabeth Thomé-Kozmiensky, Claudia Naumann-Deppe, Sarah Pietsch,
Janin Burbott-Seidel, Ginette Teske, Roland Richter,
Cordula Müller, Gabi Spiegel
Druck: Universal Medien GmbH, München

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.