



Kesseltechnik Drehrohrtechnik

Wir planen für Sie und liefern ...



- Abfall- und Sonderabfallverbrennungsanlagen
- Verbrennungsanlagen für Biomasse und Sekundärbrennstoffe
- Komplett Verbrennungsanlagen für andere Brennstoffe

- Modulare Dampferzeuger hinter Gasturbinen
- Abhitzedampferzeuger



- Drehrohröfen und Drehrohrtrockner
- Pyrolyse und Vergasungsanlagen

- Dampferzeuger
Direkt befeuert
Für Öl-/Gasfeuerung
Für Rostfeuerung



Rohstoffe zurückgewinnen – Recycling mittels Pyrolyseprozess –

Franz Hormes

1.	Thermische Zersetzung	386
1.2.	Der Vorgang der thermischen Zersetzung	386
1.2.	Komponenten und deren Verhalten bei der thermischen Trennung	387
2.	Drehrohrprinzip	388
3.	Praxisbeispiele	389
4.	Weitere Anwendungen	393
5.	Fazit	394

Rechtliche und wirtschaftliche Rahmenbedingungen haben in der Vergangenheit viele Recyclinganwendungen entstehen lassen. Das Deponieverbot und andere gesetzliche Vorgaben haben bewirkt, dass in vielen Produktionsprozessen und Verfahren eine Sortierung und damit Konzentrierung stattfindet, oder Vermischung mit bestimmten Stoffgruppen minimiert wird, um weiteres Recycling wirtschaftlich oder erst möglich zu machen. Die hohen Rohstoffpreise erzeugen seit Jahren zunehmendes Interesse an rohstofflichem Recycling. Schon längst führt die Kostensituation dazu, dass bei der Planung einer Fertigung und Herstellung die Einspar- und Recyclingmöglichkeiten Berücksichtigung finden. Steigende Kosten von Neuware und steigende Kosten für die Entsorgung machen Recyclingverfahren in zunehmendem Maße wirtschaftlich. Dies gilt sowohl für weitere Rohstoffe als auch für die Konzentration in einem Stoffstrom. Da seit Jahrzehnten einige Systeme bereits marktwirtschaftlich etabliert sind, werden die Verfahren optimiert, kombiniert und erweitert. Bessere Qualität führt zudem zu mehr Akzeptanz, bekannte Beispiele sind Altpapier, Aluminium, Glas.

In den Phasen der Verarbeitung fallen Produktionsabfälle an, die recycelt werden können (Stanzen, Schneiden, Drehen, Konfektionieren, Verpacken). Oft sind diese Abfälle bereits vermischt weil sie z.B. als Verbundwerkstoff verarbeitet werden oder weil sich die separate Erfassung am Entstehungsort nicht lohnt. Ebenso häufig sind sie mit Hilfsmitteln der Bearbeitung oder Konfektionierung behaftet, wie Schmier- und Schneidöle, Schlichte, Ummantelungen, Schutzhüllen usw.

Gemischte Abfallströme, verunreinigte Monofractionen oder sonstige Stoffe die verwertbare Anteile enthalten, sind überwiegend Feststoffe. Der Stoffstrom muss gelagert,

gefördert und für die Trennung vorbereitet werden. Teil des stofflichen Recyclings sind daher mechanische, thermische und chemische Verfahrensschritte, um die Verarbeitung zu bewerkstelligen.

Thermisches Recycling konkurriert in einigen Fällen mit dem stofflichen Recycling, z.B. bei Altreifen, Altöl und Kunststoffen, usw. Im Idealfall und meist bei thermischen Verfahren findet sich beides in einer Anlage, Beispiele dazu weiter unten.

Aus der Vielzahl der Verfahren sollen nachfolgend Verfahren vorgestellt werden, in denen die Drehrohrtechnik und dabei meist ein pyrolytischer Prozess einen wesentlichen Verfahrensschritt darstellt.

1. Thermische Zersetzung

Gegenstand des Beitrags ist der Prozess der thermischen Zersetzung durch Erhitzung des Stoffstromes als wesentlicher Verfahrensschritt und einige Praxisbeispiele.

Mechanische Verfahren kommen bei der Trennung von Verbundstoffen, der Ablösung von Beschichtungen oder Entfernung kleiner Partikel an Grenzen. Durch die mit der Erhitzung einhergehende Stoff- oder Phasenumwandlung kann diese Trennung aber bewirkt werden.

Dabei ist die mechanische Vorbehandlung insbesondere vor dem thermischen Prozess erforderlich, um die Förderfähigkeit herzustellen oder die homogene Behandlung eines Stoffstromes sicherzustellen.

1.2. Der Vorgang der thermischen Zersetzung

Im Feststoffgemisch ist die Abfolge die, dass mit steigender Temperatur die Stoffe entsprechend ihrem Dampfdruck in die Gasphase übergehen. Ähnlich der Destillation werden bei der Erhitzung von Feststoffen je nach Temperatur Stoffe ganz oder teilweise in die Gasphase überführt. Das heißt bis etwa 100 °C verdampfen die Leichtflüchtigen und Wasser. Gleichzeitig finden erste Zersetzungsprozesse in organischen Stoffen und Biomasse statt, Kunststoffe schmelzen. Bei weiter steigender Temperatur gehen langkettige Verbindungen in die Gasphase über. Kohlenhydrate der Biomasse und Kunststoffe spalten immer weiter flüchtige Gaskomponenten ab, d.h. sie cracken bei Abspaltung von elementarem Kohlenstoff und hinterlassen einen kohlenstoffhaltigen Rückstand. Reine Kunststofffraktionen wie PP und PE werden nahezu vollständig in die Gasphase überführt und hinterlassen kaum Restkohlenstoff.

Vorausgesetzt der Feststoff ist homogen durchmischt, ist der Prozess nach ausreichender Verweilzeit bei etwa 500 °C quantitativ beendet. Es finden sich nur noch Spuren von Organik, meist Teere. Auch ist der Feststoff in jedem Fall steril, ähnlich einer Behandlung im Autoklav.

Die Erhitzung erfolgt in den meisten Fällen unter reduzierender Atmosphäre, d.h. ohne Sauerstoff, Luft oder Zugabe anderer Reaktionspartner.

Diese Bedingung ist ein wesentlicher Vorteil der Pyrolyse, da auf der einen Seite im Reaktor keine Oxidation stattfindet und die Metalle auch metallisch bleiben und direkt eingeschmolzen werden können. Ebenso ist die entstehende Gasmenge gering, enthält aber fast alle Energie, und ist damit ein zur Beheizung des Reaktors geeignetes Brenngas, meist noch mit Energieüberschuss.

1.2. Komponenten und deren Verhalten bei der thermischen Trennung

Gemischte Abfallströme gibt es in allen Zusammensetzungen der folgenden Stoffgruppen

- Inerte (Glas, Mineralien, Asche),
- Metalle (Al, Cu, Ni).

Inerte wie Metalle durchlaufen den Prozess und erfahren keine Veränderung. Anhaftungen und Verbundstoffe werden abgelöst.

- Kunststoffe (PE, PP, PS, PVC),
- Schwerflüchtige Verbindungen (Öle, Harze, Bitumen, Teer).

Kunststoffe und Schwerflüchtige werden nahezu vollständig in die Gasphase überführt. Zurück bleiben geringe Partikel Kohlenstoff als Anhaftung an den Inerten. PVC und Harze erzeugen höhere Mengen Kohlenstoff der als Russ bei Temperaturerhöhung in der Gasphase entsteht und so als Schwebepartikel zu großen Teilen mit dem Gas ausgetragen wird.

- Biomasse (Holz, Papier)

Biomasse erfährt eine Entgasung wie bei der Grillkohle oder Koksherstellung. Zurück bleiben etwa 25 % Kohlenstoff mit etwa 30 % der Energie, wobei Form und Gerüst z.B. von Holz erhalten bleibt.

- Wasser,
- Leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe (Diesel, Benzin, Öle,)

Wasser und leichtflüchtige KW gehen vollständig in die Gasphase.

Elemente oder Verbindungen, die meist als Schadstoffe bezeichnet, in Spuren oder mit erhöhtem Anteil vorkommen, bedürfen einer besonderen Erwähnung.

- Quecksilber und seine Verbindungen,
- Dioxine, Furane,
- Halogene und halogenorganische Verbindungen,
- diverse Schwermetalle.

Dioxine und Furane werden zu großen Teilen zersetzt oder in einer nachfolgenden Brennkammer vollständig zerstört. Quecksilber, Arsen, Halogene und die Schwermetalle sind mit üblichen Verfahren der Abgasreinigung zu beherrschen.

Abhängig von der Stoffverbindung bleibt ein Teil der Elemente gebunden im zu recycelnden Reststoff zurück, z.B. Salze und Amalgam.

Beispiele für Stoffströme die fast alles enthalten und in großen Mengen anfallen sind Shredderleichtfraktion, Bauschutt und natürlich Hausmüll.

2. Drehrohrprinzip

Drehrohre sind in thermischen Prozessen in erster Linie Wärmetauscher. Der Einfachheit halber wird nachfolgend nur die indirekte Beheizung kurz beschrieben, um den Vorgang deutlich zu machen.

Indirekt beheizter Drehrohrprozess

Die indirekte Beheizung bedeutet, dass das Heizmedium seine Energie über eine Kontaktfläche in den Prozess abgibt. Da die Pyrolyse möglichst oberhalb 400 °C Produkttemperatur stattfindet, ist das Heizmedium meist Abgas von 800 bis 1.300 °C oder eine elektrische Widerstandheizung.

Der Wärmeübergang erfolgt über die Drehrohrwand, der Energieeintrag ist also linear zur verfügbaren Wärmetauscherfläche.

Für Hochtemperaturprozesse wie die Pyrolyse fester Stoffströme erfolgt dies mittels einer Muffel, die das Drehrohr aus Hochtemperaturstahl umgibt. In dieser Muffel, die mit feuerfester Isolierschicht ausgekleidet ist, zirkuliert Abgas. Das Abgas wird direkt mittels Brennern an der Muffel erzeugt oder in einer externen Brennkammer. Die Drehrohrtemperaturen betragen üblicherweise 600 bis 850 °C. Spezielle Drehrohre können bis 1.200 °C beheizt werden. In diesem Temperaturbereich dominiert der Wärmeübergang durch Strahlung. Physikalisch und soweit das Verfahren es zulässt ermöglicht die Variation der Wandtemperatur die Anpassung des Wärmeaustausches.

Kennzeichnend ist, dass Heizmedium und Prozessgas getrennt bleiben und Energienutzung und Prozessgasbehandlung sehr gezielt erfolgen. Bei Feststoffen, die wenig Flüchtige oder Energie enthalten kann die Abgasstrecke kleiner und effizienter ausfallen als bei direkten Verfahren.

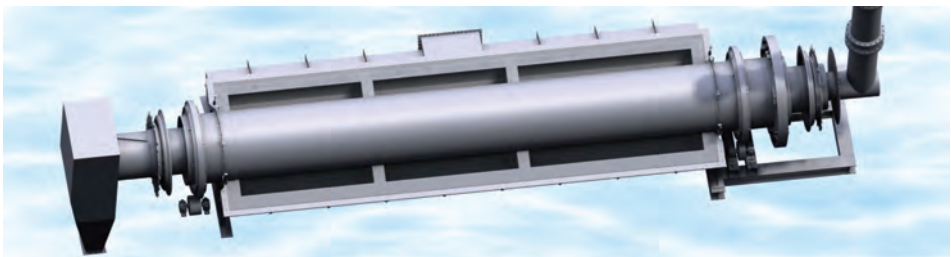


Bild 1: CAD Foto indirekt beheizter Drehrohröfen



Bild 2:

Innenansicht einer Muffel, ausgekleidet mit feuerfester Faser

3. Praxisbeispiele

Altölrecycling

Motoröl Recycling mittels Verdampfung im Drehrohr mit anschließender Konditionierung in einem Katalysator nach einem japanischen Patent.

Zielsetzung ist die Herstellung eines Diesel ähnlichen Kraftstoffs

- indirekt beheiztes Drehrohr,
- beheizt mittels Verbrennung eines geringen Teil des Öls in einer vorgeschalteten Brennkammer,
- Eintrag des Öls mittels Pumpe durch einen Lanze,
- Zusätzlich eine Förderschnecke für die Zufuhr von Kunststoff,
- Durchsatzleistung etwa 1,2 t/h Altöl,
- erste Kampagnen mit zerkleinertem Kunststoff waren erfolgreich,
- Rückstände des Öls führen auslaufseitig zu Verkrustungen, die mit Einbauten und geeigneter Fahrweise minimiert werden,
- über die bislang erreichte Ölqualität liegen uns keine Werte vor.

Reifen- und Gummi-Recycling

Reifen- bzw. Gummi-Recycling mittels Zersetzung durch Pyrolyse im Drehrohr mit anschließender Kondensation des Pyrolysegases. Zielsetzung ist die Gewinnung von Russ (Black Carbon) der wieder in der Herstellung von Gummi Anwendung findet und der Verkauf des Öls als Brennstoff.

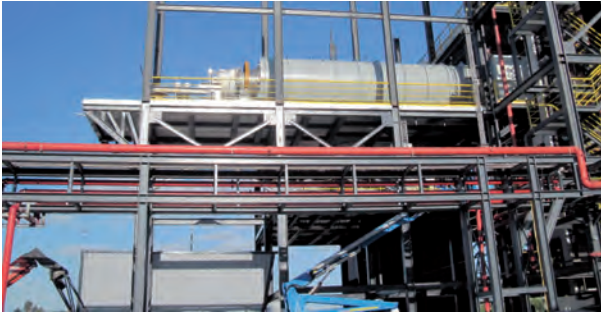


Bild 3:

Außenansicht der Anlage in Spanien

- indirekt beheiztes Drehrohr,
- beheizt mittels Verbrennung der nicht kondensierbaren Gasbestandteile in einer vorgeschalteten Brennkammer,
- Durchsatzleistung etwa 1,0 t/h zerkleinerte Altreifen,
- Technisch erfüllt die Anlage die Vorgaben, es hat sich aber gezeigt, dass die Marktpreise geringer sind als erwartet,
- die Anlage ist stillgelegt, nur die mechanische Zerkleinerung ist derzeit in Betrieb.



Bild 4:

Anlage auf Zypern

Tetra Pack

In der Anlage wird seit vier Jahren Tetra Pack recycelt. Sie ist Teil einer Papierfabrik in Spanien. In einer Waschtrommel wird die äußere Papierschicht abgelöst. Zurück bleibt der Verbund von Aluminium- und Pe-Folie. Nach der Zerkleinerung, Entwässerung und Trocknung, werden die Schnipsel pyrolysiert. Das Gas wird verbrannt und zur Dampfproduktion genutzt. Die gewonnene Alufolie ist Zuschlagstoff für Baustoffe, da die dünne Folie anteilig zuviel AlO enthält und sich die Einschmelzung nicht anbietet.

- indirekt beheiztes Drehrohr,
- beheizt mittels Verbrennung von Erdgas oder eines geringen Teil des Öls in einer vorgeschalteten Brennkammer,
- Durchsatzleistung etwa 1,2 t/h Tetra Pack Restfolie,
- die Anlage ist in Betrieb und rechnet sich schon mit dem Ersatzbrennstoff in Form des abgetrennten PE,
- es ist hier kein zusätzliches Personal erforderlich, da das Schichtpersonal der Papierfabrik die Anlage mitbetreibt.



Bild 5: Anlage in Spanien

Stahlwerksstäube

In Stahlwerken sind Drehrohre als Teil der Staubrückführung installiert, um Zunder und Staub aus dem Konverter zusammen mit anderen Rohstoffen zurück in die Stahlherstellung zu bringen. Große Mengen staubhaltiger Gase werden abgesaugt. Der Staub enthält noch hohe Anteile an Eisen- und Metallverbindungen. Eine Rückführung ist nur als Brikett sinnvoll, da Staub sofort wieder ausgetragen würde. Der Staub mit den Zuschlagstoffen und einem Bindemittel muss, bevor er zu Brikett gepresst wird, unter reduzierender Atmosphäre erhitzt werden, damit die Briketts ausreichend Haltbarkeit aufweisen.

- indirekt beheiztes Drehrohr, beheizt mittels Erdgasbrenner,
- Durchsatzleistung etwa 13 t/h,
- die Anlagen sind seit den neunziger Jahren in Betrieb und Teil eines großen aufwendigen Prozesskette.

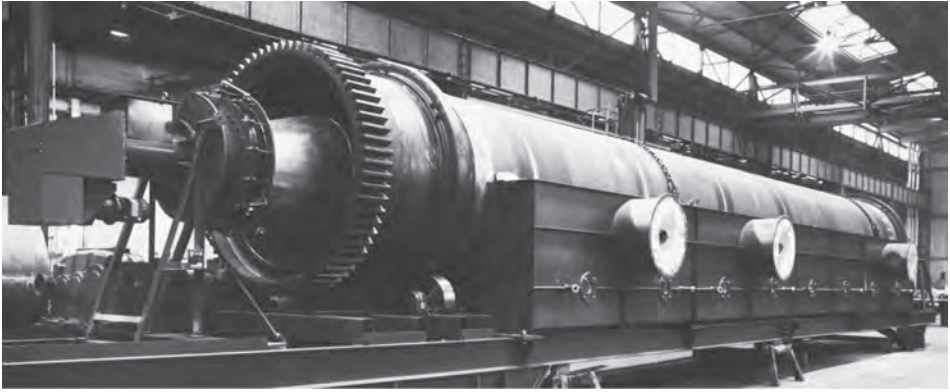


Bild 6: Drehrohrofen für Stahlwerksstaub

Messingspäne

Messingspäne aus der Metallbearbeitung sind mit Schneidöl, Schmieröl und Schmutz verunreinigt. In Drehrohren wird die Verunreinigung abgedampft. Die Metalle, frei von Flüchtigen, können dann gefahrlos wieder recycelt werden.

- indirekt beheizte Drehrohre,
- beheizt mittels Erdgasbrenner,
- Durchsatzleistung etwa 1,2 t/h,
- die Drehrohre sind seit etwa zwanzig Jahren in Betrieb.

In den meisten Prozessen wird ein brennbares Gas erzeugt das sicher gefördert werden muss. Der Gasaustritt oder Luftzutritt müssen sicher verhindert werden. Hier zur Erklärung Fotos einer geführten Gleitringdichtung.

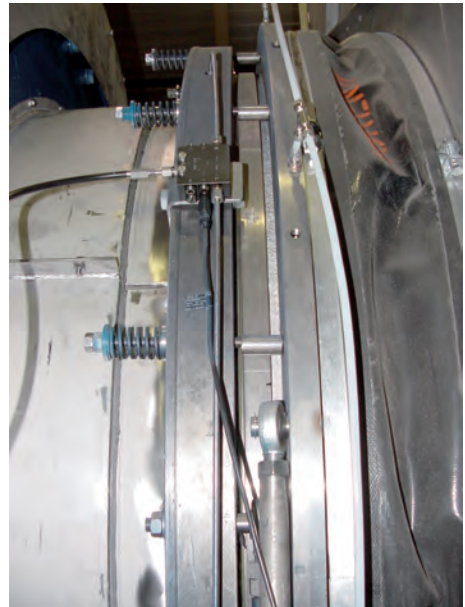


Bild 7: Gleitringdichtung

Aktivkohle Reaktivierung

Vergleichbar der Herstellung von Aktivkohle erfolgt auch die Reaktivierung bzw. Regenerierung oft in indirekt beheizten Drehrohren. Die Kohle wird je nach Anwendung immer wieder recycelt und meist vom Kunden wieder übernommen. Die Reaktivierung kann direkt oder indirekt erfolgen. Ausschlaggebend ist, den Prozess ohne Sauerstoff zu betreiben.

- direkt beheiztes Drehrohr zur Trocknung und Reaktivierung,
- Durchsatzleistung etwa 400 kg/h TS plus 400 kg/h Feuchte,
- die Anlage ist über zwanzig Jahre in Betrieb.



Bild 8: Reaktivierungsanlage in Frankfurt

4. Weitere Anwendungen

Viele weitere Verfahren befinden sich in Betrieb bzw. sind bei passenden Rahmenbedingungen sinnvoll. Nachfolgend noch einige Beispiele aus der Praxis, erfolgreichen Großversuchen oder Tests.

- Recycling von Elektroschrott – Rückgewinnung Metalle
- Recycling von Schredderleichtfraktion – Rückgewinnung Metalle
- Kohlefaser Recycling – Abtrennung von Bindemittel
- Entschlichtung von Glasfaser – Abtrennung von Beschichtung
- Recycling von Formsand – Wiederverwendung
- Reinigung kontaminierter Böden – Wiedereinbau von Erdreich
- Gewinnung von Phosphor aus Abfällen – Rückführung als Kunstdünger
- Entsorgung von Explosiv- und B- und C-Kampfstoffen mit Metallrecycling als Nebenwirkung

5. Fazit

Thermische Verfahren helfen Stoffe zu recyceln die durch die Verarbeitung, Anwendung, durch Vermischung oder Verunreinigung nicht mehr sortenrein sind oder die Qualitätskriterien nicht erfüllen. Die Beispiele geben nur einen Einblick in unterschiedlichste Anwendungen des Recyclings. Erfahrungsgemäß werden die Grenzen von wirtschaftlichen Kriterien gesteckt, technisch ist es eine Frage des Aufwands.

Auch hier sind derzeit die Rohstoffpreise und die Energiekosten weiter die treibenden Kräfte.

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Recycling und Rohstoffe – Band 6

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Daniel Goldmann.

– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2013

ISBN 978-3-935317-97-9

ISBN 978-3-935317-97-9 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

Copyright: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky

Alle Rechte vorbehalten

Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky • Neuruppin 2013

Redaktion und Lektorat: Professor Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. Karl J. Thomé-Kozmiensky,

Dr.-Ing. Stephanie Thiel, M.Sc. Elisabeth Thomé-Kozmiensky

Erfassung und Layout: Ina Böhme, Petra Dittmann, Sandra Peters,

Martina Ringgenberg, Ginette Teske, Ulrike Engelmann, LL. M.

Druck: Mediengruppe Universal Grafische Betriebe München 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.