

## Modernste Technologien in der Wiederaufbereitung von edelmetallhaltigen Rückständen

Jan Schapp

1. Wertstoffe müssen umweltverträglich und emissionsarm bereitgestellt und wiederaufbereitet werden .....346
2. Wertstoffe sollten lokal in den wichtigsten Industrieregionen verwendet und verwertet werden .....348
3. Wertstoffe müssen wirtschaftlich wiedergewonnen werden .....349
4. Zusammenfassung .....349

Die Edelmetallmengen, die jährlich aus edelmetallhaltigen Rückständen aufbereitet werden, steigen weiter deutlich an. Veröffentlicht werden in diesem Zusammenhang Zahlen aus der jährlichen globalen Produktion von Edelmetallen, aus Primärkonzentrat und Edelmetallmengen, die aus dem Autokatalysator-Recycling sowie Juweliergeschäft stammen. Diese Mengen sind aus Tabelle 1 zu entnehmen. Ein Großteil entfällt dabei auf die Produktion von Silber. Diese hat mit etwa 33.000 Tonnen eine deutlich andere Dimension als die der in der Rangfolge dahinter liegenden Metalle. Die Weltjahres-Produktion von Gold (etwa 4.500 Tonnen) liegt schon um eine Zehnerpotenz niedriger. Die Platin- und Palladiummengen (etwa 243 Tonnen bzw. etwa 277 Tonnen) liegen wiederum um den Faktor zehn darunter. Diese Tendenz setzt sich zum Rhodium (etwa 31 Tonnen) und Ruthenium (etwa 26 Tonnen) fort. Berechnet man die Würfelkantenlängen dieser Produktionsvolumina, ergeben sich, aufgrund der hohen Dichte der Edelmetalle, überraschend kleine Raummaße. Während die Gold-Jahresproduktion (etwa sechs Meter) in ein gewöhnliches Haus passen würde, fände die Platin-Jahresproduktion (etwa zwei Meter) schon in einer Garage Platz!

Tabelle 1: Globale Produktion (Primär und Autokatalysator; F=forecast)

Edelmetall	Symbol	Produktion Tonnen	Kantenlänge Meter
Gold	Au	4.527 F	6,27
Silber	Ag	32.830 F	15,15
Platin	Pt	243	2,11
Palladium	Pd	277	2,68
Iridium	Ir	6	0,45
Rhodium	Rh	31	1,37
Ruthenium	Ru	26	1,16

Quelle: Ag, Au - The Silver Institute, Thomson Reuters-GFMS; Pt, Pd, Ir, Rh, Ru, Johnson Matthey – www.platinum.matthey.com

Blickt man auf die Verwendungszwecke dieser Metalle, entdeckt man eine erstaunliche Vielfalt. Für das Gold sind unter den Industrien die Schmuck-, aber auch die Elektronik-Branche hervorzuheben. Hier wird das Edelmetall unter anderem für die Fertigung von Bond-Drähten zur Kontaktierung von Mikrochips auf Platinen verwendet. Glas- und Porzellan-Veredelung ebenso wie Investment-Barren folgen als wichtige Branchen in der Verwendung des begehrtesten Vertreters aus der Reihe der Edelmetalle.

Im Fall des Silbers fällt das Augenmerk auf die Photovoltaik-Industrie. Erhebliche Mengen des Metalls werden in Form von leitfähigen Pasten zur Herstellung der Strom ableitenden Verbindungen in Solarzellen genutzt. In der Wiederaufbereitung ist das Silber aus Ethylen-Oxid-Katalysatoren bedeutsamer. Hier wird es neben dem immer häufiger als Promotor verwendeten Rheniums in deutlichen Mengen verarbeitet. Elektronik, Glas und Schmuck sind hier als bedeutsame Verwendungszwecke ebenfalls zu nennen.

Beim Platin sticht neben der Automobilbranche, die Ölindustrie als großer Verbraucher heraus. Im Reforming-Katalysator dient es Raffinerien zur Erhöhung der Oktanzahl des Naphtas und somit zur Veredelung des Kraftstoffs. Außerdem können aus Aliphaten Aromaten durch Dehydrierung erzeugt werden. Autoabgaskatalysatoren sind nicht nur für das Platin, sondern weiterhin für die Edelmetalle Palladium und Rhodium die größte Applikation weltweit. Anwendungen in Schmuck-, Chemischer-, Elektronik-, Düngemittel- und Glas-Industrie komplettieren die Verwendungspalette, und machen Platin zum industriell bedeutsamsten Edelmetall.

Für Palladium gilt, dass es zu einem wichtigen Teil in der chemischen Industrie verwendet wird. Auf Aktivkohle gebunden, dient es beispielsweise als Hydrier- oder Kupplungskatalysator in der Feinchemie. Weitere Anwendungen findet das Metall im Autoabgaskatalysator, sowie in der Dental-, Schmuck- und Elektronik-Branche.

Iridium wiederum findet Anwendung in der Elektrochemie als Beschichtungsmaterial für Anoden in der Chlor-Gas-Herstellung. Die Halbleiter-Industrie nutzt es als besonders widerstandsfähiges, hochtemperatur-geeignetes Tiegelmaterial, während die Automobil-Industrie für die Herstellung von Zündkerzen ebenfalls von seinen speziellen Eigenschaften profitiert. Ein etabliertes Verfahren der chemischen Industrie zur Essigsäureherstellung (Cativa) nutzt Iridium in Kombination mit Ruthenium als Homogenkatalysator.

Die chemische Industrie ist ein wichtiger Verbraucher für Rhodium. Rhodium dient hier in Form von Homogenkatalysatoren zur Synthese von Essigsäure, wie auch zur Herstellung von Oxo-Chemikalien für eine Vielzahl an Anwendungen (z.B. der Waschmittel-Herstellung). Weiterhin zu nennen sind Automobil-, Schmuck- und Glas-Industrie als wichtige Verbraucher.

Ruthenium spielt aufgrund seiner speziellen magnetischen Eigenschaften vor allem in der Festplatten-Industrie eine entscheidende Rolle. Nur wenige Atomlagen des Metalls zwischen den magnetischen Schichten der Festplatte ermöglichen eine enorme Steigerung der Festplatten-Kapazität durch die sogenannte *Perpendicular Magnetic Recording* Technologie. Die Elektrochemie ist der andere bedeutsame Anwender bei der Produktion von dimensions-stabilen Anoden (DSA).

Diese Vielfalt von Anwendungen erfordert auf der Seite des Edelmetall-Recyclings eine große Bandbreite an Wiederaufbereitungs-Verfahren. So wurden etwa 25 bis dreißig Prozent des globalen Angebots an Platingruppen-Metallen aus dem Recycling gewonnen. Diese Quote steigt wegen der Zunahme des Autokatalysator-Recyclings. Der Durchsatz im Recycling des Edelmetall- und Technologiekonzerns Heraeus stieg im Fall des Feinsilbers innerhalb der letzten zwanzig Jahre um den Faktor sieben. Die Feingold-Produktion nahm im selben Zeitraum sogar um den Faktor vierzig zu.

Diese Durchsatzsteigerung ist unter Anderem mehreren Vorteilen geschuldet, die dieses Geschäft für unser Unternehmen und seine Kunden bietet:

### **Bereitstellung von Feinmetallen für Produktion und Handel zur rechten Zeit und in der richtigen Qualität**

Aufgrund des hohen Wertes der Metalle ist eine kurze Lieferzeit erforderlich. Solange das Metall in der Produktion, Lagerhaltung oder im Transport gebunden ist, kann es seinen eigentlichen, produktiven Zweck nicht erfüllen. Die Erzeugung von Feinmetallen am Ort der Weiterverarbeitung bietet daher hohe logistische und finanzielle Vorteile. In einigen Fällen können Zwischenprodukte aus der Edelmetall-Raffination bereits weiter veredelt werden.

### **Option des Kreislaufgeschäfts für Produkt-Kunden**

Service aus einer Hand bietet für industrielle Kunden Vorteile, da ein Ansprechpartner komplexe Abläufe koordinieren kann. Teure und zeitaufwändige Metalltransfers entfallen.

### **Zugang zu Metallen aus dem offenen Kreislauf für den Handel**

Der offene Kreislauf liegt vor, wenn Metalle nicht sofort nach dem Recycling wieder für die Edelmetall-Produktherstellung verwendet werden. Durch den Handel werden diese Metalle einer neuen Verwertung zugeführt.

### **Unabhängigkeit von Minen für die Metallversorgung**

Recycling von Edelmetall aus dem offenen Kreislauf schafft eine alternative Versorgungsmöglichkeit, falls Metallmengen aus der primären Produktion aufgrund von Fertigungsausfällen durch Streiks, Unfälle oder technische Störungen limitiert werden.

### **Unterstützung der produzierenden Einheiten des eigenen Unternehmens mit speziellen Metallqualitäten**

Für ausgewählte Produkte sind spezielle Qualitäten notwendig, die über Standard (ASTM)-Reinheit hinausgehen. Weitere Qualitätsmerkmale (z.B. Partikelgrößen) können zudem nach Wunsch eingestellt werden.

### **Unterstützung des Produktgeschäfts auf allen Erdteilen durch optimierte Metallströme, um Steuern und Zölle zu vermeiden**

Gerade die Wachstumsmärkte China und Indien haben aktuell hohe Hürden in Form von Abgaben auf In- und Exporte zum Weltmarkt errichtet. Hier sind zur Versorgung mit Edelmetall im Vergleich nur deutlich kostspieligere Importe verfügbar. Das durch Recycling vor Ort bereitgestellte Edelmetall ist daher für das Edelmetallproduktgeschäft die wirtschaftlichere Alternative zur Sicherstellung der Versorgung mit Rohprodukten für die Fertigung. Marktöffnungen gelten auch in naher Zukunft als sehr unwahrscheinlich. Indien hat im Jahr 2013 zur Reduktion des Handelsbilanzdefizits aufgrund von Edelmetallimporten sogar Abgaben erhöht.

Der Service der Business Unit Recycling im Geschäftsbereich Heraeus Precious Metals GmbH & Co KG richtet sich vorrangig an folgende Zielkunden bzw. Märkte:

- Edelmetall-Minen, Scheideanstalten und Smelter
- Pharmazeutische, chemische und agrochemische Industrie
- Petrochemische Industrie
- Magnetische Datenspeicher-Industrie
- Schmuck, Dentalbranche, Investment
- Medizintechnik, Glas- und Elektronikindustrie

In diesen Märkten ist die Business Unit der Weltmarktführer.

Nahezu alle der oben aufgelisteten Vorteile, die durch die Edelmetall-Wiederaufbereitung erbracht werden, gehen auf den Edelmetall-Kreislauf zurück.

Dieser Kreislauf kann für die verschiedenen Verfahren unterschiedlich aussehen. Ganz allgemein beschreibt ihn das folgende Schema:

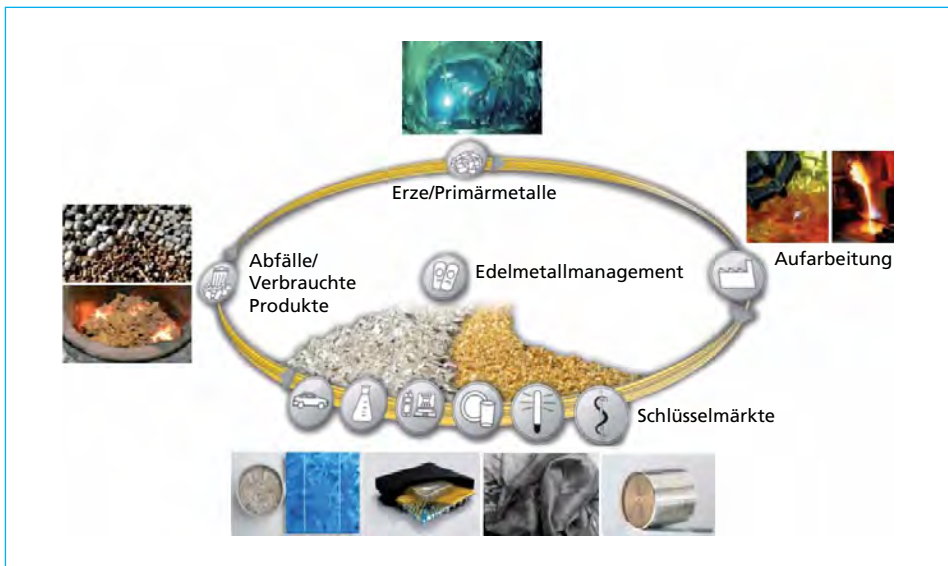


Bild 1: Schematischer Edelmetallkreislauf

Edelmetalle können naturgemäß direkt über Minenproduktion aus dem Erdreich gewonnen werden. In diesem Fall geschieht die Aufreinigung beim Edelmetall-Recycling-Unternehmen. Dieses erzeugt Halbfertigprodukte, die in die oben genannten Schlüsselmärkte verteilt werden. Abfälle, die aus der Verwendung in diesen Märkten entstehen, gelangen zum Teil wieder zurück zum Aufbereiter, so dass sich der Kreis schließt.

Betrachtet man diesen Kreislauf am Beispiel der Magnetischen Datenspeicher Industrie (MDS) ergibt sich ein ähnliches Bild, das mit konkreten Mengenbilanzen hinterlegt werden kann. Es handelt sich um das größte Anwendungsfeld von Ruthenium. Hauchdünne Ruthenium-Schichten werden mit Hilfe eines Ruthenium-Targets auf Festplatten-Medien abgeschieden. Nur vierzig Prozent des Rutheniums der Targets gelangt auf die Festplatte. Das gebrauchte Target geht zum Recycling. Große Ruthenium-Abfallmengen benötigen daher einen effizienten Recycling-Kreislauf. Nur etwa vierzig Prozent des gesamten MDS-Rutheniums müssen daher pro Jahr aus primären Quellen ersetzt werden. Dieser Tatsache ist die Wirtschaftlichkeit des ganzen Geschäfts geschuldet.

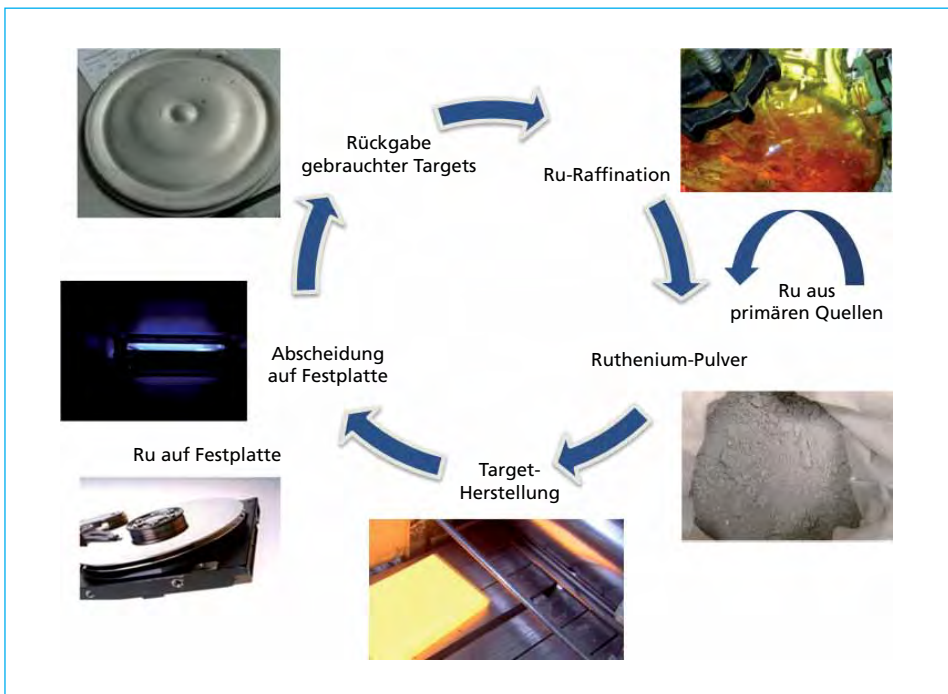


Bild 2: Edelmetallkreislauf am Beispiel der Magnetischen Datenspeicher Industrie

Die Kreislaufführung der Ressourcen dient nicht nur der Ressourceneffizienz, sondern auch in weiteren wichtigen Aspekten dem Umweltschutz. Dieser ökologische Nutzen lässt sich durch drei Thesen beschreiben:

- Wertstoffe müssen umweltverträglich und emissionsarm bereitgestellt und wiederaufbereitet werden
- Wertstoffe sollten lokal in den wichtigsten Industrieregionen verwendet und verwertet werden
- Wertstoffe müssen wirtschaftlich wiedergewonnen werden

## 1. Wertstoffe müssen umweltverträglich und emissionsarm bereitgestellt und wiederaufbereitet werden

Die erste These kann am Beispiel der Untersuchung der Umweltauswirkung und des Energieprofils der Erzaufbereitung veranschaulicht werden. Der PGM-Gehalt im Gestein beträgt lediglich zwischen 2,5 und 6 Gramm pro Tonne. Dieser geringe Wert zieht folgenden Effekt auf den Vergleich an Umweltauswirkungen nach sich:

- Faktor siebenzig bis hundert geringerer Energieverbrauch zu Gunsten des Platin-Gruppen-Metall-Recyclings
- Faktor zweihundert bis dreihundert geringere CO<sub>2</sub>-Emissionen zu Gunsten des Platin Gruppen Metall-Recyclings

Der Unterschied zwischen den Faktoren beruht auf den im Hinblick auf CO<sub>2</sub>-Produktion ungünstigeren Energiemix der primären Gewinnung.

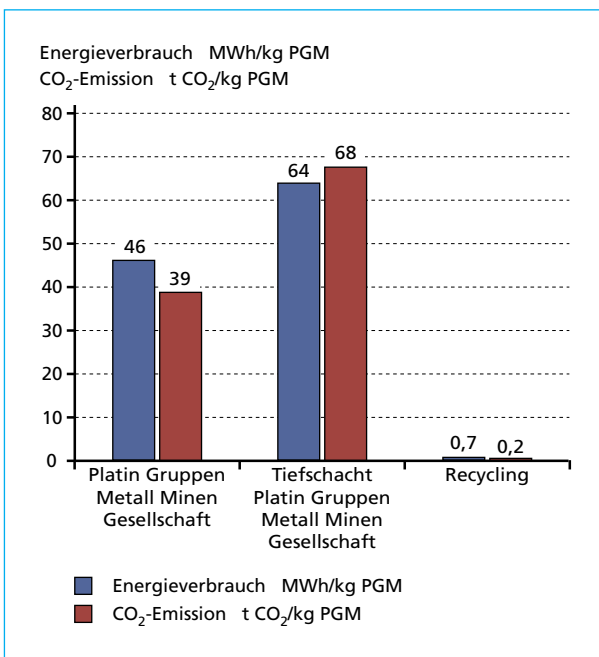


Bild 3:

Umweltauswirkung und Energieprofil der Erzaufbereitung

25 bis dreißig Prozent des globalen Angebots an Platin-Gruppen-Metallen stammen derzeit aus dem Recycling. Das globale Ziel der CO<sub>2</sub>-Einsparung sollte daher die Stärkung des Recycling-Sektors deutlich befördern.

Die erste These fordert zudem die Nutzung emissionsarmer Verfahren im Recycling. Ein ausgezeichnetes Beispiel ist die bei Heraeus exklusiv eingesetzte *grüne* Verfahrensweise in der Ruthenium-Reinigung. Die Ruthenium-Destillation ist hierbei der Schlüsselprozess der Ruthenium-Aufreinigung. Sie verwendet Chlorgas zur Erzeugung des einzigartigen, volatilen Metalloxids, des Rutheniumtetroxids.

Aus einer Destillation entstammendes überschüssiges Chlorgas kann in einer zweiten Anlage wieder verwendet werden, um Ruthenium zu oxidieren. Das Ergebnis ist eindrucksvoll: siebzig Prozent des eingesetzten Chlorgases wird eingespart. Dieser Erfolg zieht weiterhin eine signifikante Laugen-Einsparung durch verringerte Chlormengen in der Abgaswäsche nach sich. Weniger Lauge wiederum muss kostenintensiv durch Chlor-Alkali-Elektrolyse hergestellt werden. Außerdem werden nicht unerhebliche Energiekosten bei der Umwälzung großer Volumina an Abgas-Wäscher-Lösung vermieden.

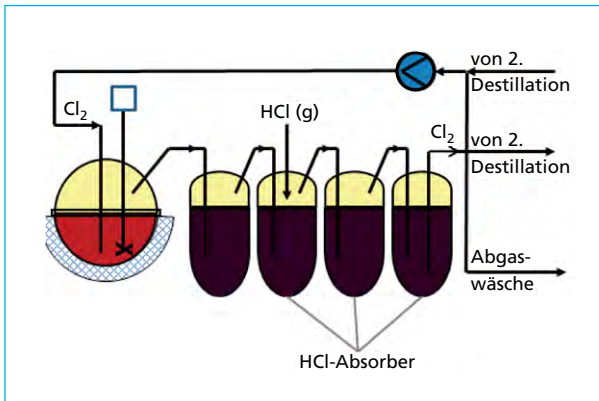


Bild 4:

Schematische Darstellung der Ruthenium-Destillation

Weitere Innovationen aus eigener Entwicklung für das Anwendungsfeld der Pharma-, Fein- und Agrochemie-Katalysatoren bieten sich als Beispiele für nachhaltige Prozesse nach neuestem technischen Stand an:

- HeraCYCLE: Patentrechtlich geschützte thermische Behandlungsmethode
- HeraSAMPLE: Beprobung bereits vor thermischer Behandlung

Besonders die HeraCYCLE-Technologie schont die Umwelt. Das Konzentrat aus der Verbrennung erlaubt eine kosteneffektive, nasschemische Weiterbehandlung. Teure Chemikalien gehen nicht unnötig durch Verdünnung verloren. Die Thermische Nachverbrennung, der  $\text{NO}_x$ -Katalysator und die Abgaswäsche garantieren minimalste Umweltauswirkungen der Abgasströme. Etwa die Hälfte der Investitionen des Konzerns in neue Anlagentechnologien fließt in umweltrelevante Anlagenteile, welche entweder die Reinigung der Abgase selbst, oder die Überwachung der Schadstoffwerte übernehmen. Es handelt sich hierbei um kontinuierliche Emissionsmessungen, die die perfekte Leistung dieser Anlage jederzeit sicherstellen. Nicht zuletzt ergibt sich ein nicht zu überschätzender Vorteil für den Kunden: die thermische Reduktion ermöglicht eine besonders akkurate Probenahme und Edelmetall-Gehaltsbestimmung. Diese Ziele werden durch eine besonders homogene Asche erzielt, die das Resultat einer hervorragenden, schonenden und kontrollierten Verbrennung sind.

Spezielle Einbauten in der Ofenkammer ermöglichen eine homogene Temperaturverteilung ohne den Einsatz einer offenen Flamme und den daraus entstehenden Turbulenzen. Ascheverluste werden durch dieses Verfahren ausgeschlossen. Außerdem wird der kontrollierte Abbrand von hochkalorischem Material zur Routine.

Aufgrund des nachhaltigen Erfolgs am Markt entschloss sich unser Unternehmen zu einer deutlichen Kapazitätserweiterung mit Hilfe eines Investitions-Projektes mit einem Volumen von mehreren Millionen Euro am Standort Hanau. Die realisierten Ziele umfassen hierbei die Steigerung des Materialdurchsatzes um bis zu fünfzig Prozent. Unsere Kunden profitieren durch größere Marktpräsenz aufgrund der deutlichen Kapazitätserweiterung und die besondere Flexibilität der neuen Anlage. Sie ermöglicht die Verbrennung einer ausgedehnten Bandbreite an Materialien, die auch Problemstoffe, wie z.B. Quecksilber, Cadmium und Blei umfasst. Diese Metalle werden von dem aufwendigen Filtermodul unter Einsatz des Kugelrotor-Umlaufverfahrens im Abgasstrang effizient zurückgehalten.

## 2. Wertstoffe sollten lokal in den wichtigsten Industrieregionen verwendet und verwertet werden

Die Umsetzung von These Nummer 2 wird in unserem Hause durch eine kontinuierlich ausgebaute globale Präsenz sichergestellt. Die Business Unit Recycling ist aktuell in wichtigen Wachstumsregionen durch weltweit zehn Produktionsstandorte vertreten. Speziell unsere Präsenz in China ist bemerkenswert: der Standort in Hong Kong besteht bereits seit 1974. Hier konzentriert sich das Recycling Geschäft auf Scheidgut aus der Schmuck- und Minenindustrie, sowie aus der Banken-Branche. Jüngeren Datums sind die Standorte in und um Shanghai. Als erster globaler Anbieter offeriert Heraeus hier Verbrennung und Wiederverwertung von verbrauchten Katalysatoren in China. Außerdem sind Verbrennungs- und Probenahme-Dienstleistungen für Chemie- und Pharmaindustrie im Portfolio vertreten. Die Standorte profitieren von der günstigen Lage zu Kunden in den Provinzen Jiangsu, Zheijiang und Shanghai. Kreislaufgeschäfte werden durch Integration von Edelmetall-Recycling mit der Versorgung von Kunden mit edelmetallhaltigen-Produkten durch unsere Unternehmungen in China ermöglicht. Unsere Werke erfüllen selbstverständlich alle notwendigen behördlichen Auflagen. Die *Hazardous Waste Operation License* gehört beispielsweise zu den Grundpfeilern unseres Geschäfts. Alle wichtigen Edelmetall-Recycling-Standorte sind ISO 9001 zertifiziert als Nachweis für ein fundiertes Qualitätsmanagement.

Den Zugang zu den Wachstumsmärkten eröffnet sich die Geschäftssparte durch innovative Technologie. So wurde die thermische Behandlung von fluorhaltigen Katalysatoren am Standort Taicang 2012 mit dem Heraeus Innovationspreis als beste Prozessinnovation ausgezeichnet. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, dass die dort eingesetzten Technologien vor Ort entwickelt und zum Patent angemeldet wurden. Somit wird Recycling Technologie in Zukunft aus China exportiert. Ein wegweisendes Beispiel für globale Vernetzung und zukünftige Technologie-Roadmaps.

Der Technologiesprung wurde durch in feuerfester Isolierauskleidung ausgeführte Anlagenteile mit hohem Aluminiumoxid-Anteil ermöglicht. Ein speziell ausgewählter Anteil der Ausmauerung ist verantwortlich für hohe Temperaturwechselbeständigkeit und eine lange Lebensdauer trotz häufiger An- und Abfahr-Prozeduren. Die konsequente



Außenisolierung aller feuerfest ausgekleideten Anlagenteile dient zur Vermeidung der Kondensation korrosiver Fluorwasserstoff-Säuren. Eine wassergekühlte Quenche zum Austrag der Prozesswärme ist in einem speziell fluorwasserstoff-beständigem Werkstoff ausgeführt. Die Fluorwasserstoff-Abreinigung gelingt mit Hilfe eines besonders korrosionsbeständigen ersten Wäschers.

Die Schlüsseltechnologie thermische Behandlung brach somit in beeindruckender Weise bis 2012 Jahr um Jahr Durchsatzrekorde weltweit. Die spezialisierten Anlagen in Hanau (GER), Wartburg (USA) und Taicang (PRC) verdreifachten seit 2005 ihre Abbrand-Leistung, um aktuell einen jährlichen Durchsatz von über dreitausend Tonnen zu erreichen.

### 3. Wertstoffe müssen wirtschaftlich wiedergewonnen werden

Flankiert wird diese Erfolgsgeschichte von innovativer *Scavenger*-Technologie zur effizienten Edelmetallrückgewinnung aus gering konzentrierten flüssigen Abfällen. Diese Technologie ist auch wirtschaftlich, wenn die Edelmetallgehalte sich im ppm-Bereich befinden. Unser Unternehmen setzt hierbei auf eine strategische Partnerschaft mit der Firma Phosphonics aus der Nähe von Oxford (Großbritannien). Der Service dieser Allianz bietet die ökologische und ökonomische Optimierung von Prozessen der Pharmaindustrie, sowie der Groß- und Spezialitätenchemie. Im Fokus stehen die Metalle Platin und Rhodium. Scavenger sind Adsorbentien auf Silikatbasis zur Anreicherung von Edelmetallen aus flüssigen Rückständen. Ihr Arbeitsbereich liegt in einer Konzentrations-Bandbreite zwischen zwei ppm und fünfhundert ppm Edelmetall. Der Prozessstrom wird zu diesem Zweck über Scavenger-Säulen geleitet, ähnlich zu einem Ionen-Austausch-Prozess. Sehr geringe Rhodium-Konzentrationen nach dem Scavenger Prozess sind möglich. Schwermetallinhalte von Abwasserströmen werden durch diese Technologie somit minimiert. Abfalldeponie-Kosten sinken oder werden sogar eliminiert. Die gebundenen Edelmetallmengen sinken durch schnelle Rückgewinnung. Eine rasche Implementierung ist gepaart mit niedrigem Investitionsmittelbedarf beim Kunden. Wirtschaftlich wird das Verfahren innerhalb kurzer Zeit durch Einsparung von Aufarbeitungs- und Transportkosten, sowie einer einfacheren Handhabung des Scheidgutes.

### 4. Zusammenfassung

In der Zusammenfassung sind folgende Erkenntnisse in Bezug auf die Stärken des Recyclings festzuhalten:

- das Recycling von sekundären Materialien ist aufgrund seines niedrigen Energiebedarfs und seinen geringen Umweltauswirkungen ökologisch positiv zu bewerten,
- höchste Umweltstandards bei Abluft, Abwasser und Abfallbehandlung können über eine Ausweitung der Recycling-Ströme etabliert werden,

- Stoffkreisläufe im Edelmetallgeschäft tragen essenziell zur Schonung von Ressourcen bei,
- die Rückgewinnung von Wertstoffen wird durch überlegene thermische Behandlungs- und Raffinationstechnologien wirtschaftlich,
- hochreine Edelmetall-Produkte machen Schlüsseltechnologien erst zugänglich und sind damit unverzichtbar,
- das Recycling aus dem offenen Kreislauf wird in Zukunft immer bedeutsamer werden.

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

**Recycling und Rohstoffe** – Band 7

Karl J. Thomé-Kozmiensky, Daniel Goldmann.

– Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2014

ISBN 978-3-944310-09-1

ISBN 978-3-944310-09-1 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 2014

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: Ginette Teske, Fabian Thiel, Janin Burbott, Cordula Müller,

Katrin Krüger

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.