

# Rückgewinnung von Platingruppenmetallen aus Abgaskatalysatoren

Kerstin Kuchta und Friedhelm Schöne

1.	Versorgungslage bei Platingruppenmetallen.....	138
2.	Fahrzeugkatalysatoren.....	140
3.	Der Recyclingprozess für gebrauchte Autokatalysatoren .....	143
4.	Plasmaschmelze als Rückgewinnungsschritt im Recycling von PGM aus Fahrzeugkatalysatoren .....	144
5.	Zusammenfassung .....	145
6.	Quellen .....	145

Im Jahr 2010 hat die Europäische Union die Platingruppenmetalle (PGM) als kritische Rohstoffe eingestuft. Diese Einstufung erfolgte auf der Grundlage, dass Prognosen zufolge sich die Nachfrage bis zum Jahr 2030 signifikant erhöhen würde und gleichzeitig ein großer Teil der weltweiten Produktion auf einige wenige Länder entfällt. Im Fall der PGM sind dies Südafrika und Russland, welche gemeinsam etwa achtzig Prozent der Weltproduktion erbringen. Der Bedarf an PGM stieg bereits in den letzten fünf Jahren um mehr als zwanzig Prozent an und lag in 2013 bei mehr als 540 Tonnen. Dieses Wachstum kann heute nicht durch eine weitere Steigerung der Primärgewinnung ausgeglichen werden. Die mit Abstand größte Nachfrage, mit über dreihundert Tonnen PGM in 2013, besteht in dem Bereich der Fahrzeugkatalysatoren, gefolgt von der Schmuckherstellung und der chemischen Industrie. Vor diesem Hintergrund kommt dem Recycling, und insbesondere dem Recycling von Fahrzeugkatalysatoren, eine besondere Bedeutung zu.

Im Folgenden wird die Versorgungslage mit Platingruppenmetallen zusammengefasst und deren Anwendung im Fahrzeugkatalysator erläutert. Aufbauend darauf werden die weltweiten Sammelaktivitäten für Altfahrzeugkatalysatoren skizziert und ein aktuelles deutsches Projekt zur weitergehenden Aufbereitung der PGM-haltigen Katalysatorbestandteile in einem Plasmaschmelzofen vorgestellt. Dieses stellt nicht nur eine im Vergleich zur Minenproduktion ökologisch deutlich umweltgerechtere Variante der Gewinnung von PGM dar, sondern wird auch einen wesentlichen Beitrag zur Sicherung der Rohstoffversorgung Mitteleuropas leisten.

## 1. Versorgungslage bei Platingruppenmetallen

Bis ins 18. Jahrhundert war Platin ein unerwünschter Begleiter von Edelmetallen, der deren Verarbeitung erschwerte und die Qualität der Edelmetall-Produkte minderte. Dies änderte sich Mitte des 18. Jahrhunderts, als Platin als Edelmetall erkannt und im Weiteren die werkstofflichen Qualitäten nutzbar gemacht werden konnten. Es folgte die Entwicklung von gezielten Abbau- und Raffinationsverfahren. Zu Beginn des 20. Jahrhundert überstieg der Preis von Platin erstmals den von Gold [2].

Heute werden PGM hauptsächlich für Katalysatoren, z.B. in der petrochemischen Industrie oder in Abgaskatalysatoren, eingesetzt.

### Primärproduktion von PGM

Platingruppenmetalle fallen bei der Gewinnung von Gold, Silber oder Kupfer und Eisen als Nebenprodukt an. Die relevanten Lagerstätten werden heute im Wesentlichen in Südafrika und Russland abgebaut und aufbereitet.

Für die Aufbereitung und Raffination wurden je nach Erz spezifische Techniken entwickelt. In der Aufbereitung werden Zerkleinerung, Flotation und Schmelzverfahren angewandt und auf diese Weise ein PGM-Konzentrat mit einem Gehalt von bis zu 1,5 kg/t erzeugt. In der anschließenden Raffination, einer Prozesskette aus Lösung in Salzsäure und Chlorgas bzw. Kalzinierungsschritten (Solvent-Extraktion), werden die einzelnen PGM voneinander und anderen Metallen getrennt. Diese Prozessketten werden so oft wiederholt, bis hohe Reinheiten von 999,5 Promille erreicht sind [6].

### Primäre und sekundäre PGM-Quellen

Das weltweite Angebot an Platingruppenmetallen belief sich in 2013 auf 365 Tonnen. Hauptlieferanten der PGM sind Südafrika und Russland. Weitere relevante Minen werden in Nordamerika und Zimbabwe betrieben [5].

Während die Primärproduktion über die letzten Jahre leicht zurückging, konnte die Gesamtbereitstellung auf Grund der steigenden Sekundärproduktion (Recycling) über die letzten fünf Jahren stetig gesteigert werden. Gleichzeitig stieg der Verbrauch, vor allem in den Segmenten Fahrzeugkatalysatoren und chemische Industrie, deutlich an, so dass der Gesamtbedarf aktuell die Produktion übersteigt und nur von den Vorräten der Produzenten bedient werden kann (Bild 1) [5]. Insgesamt zeigte sich in 2013 ein Defizit von mehr als 38 Tonnen oder 7,5 Prozent der Jahresproduktion. Trotz einer prognostizierten Steigerung der Produktion um weitere zwei Prozent und des Recyclings um weitere zehn Prozent wird mit einer nicht aus der Erzeugung zu deckenden zusätzlichen Nachfrage von fünf Prozent im kommenden Jahr gerechnet [5]. Damit würde das Versorgungsdefizit weiter steigen und die vorhandenen Stocks weiter abschmelzen.

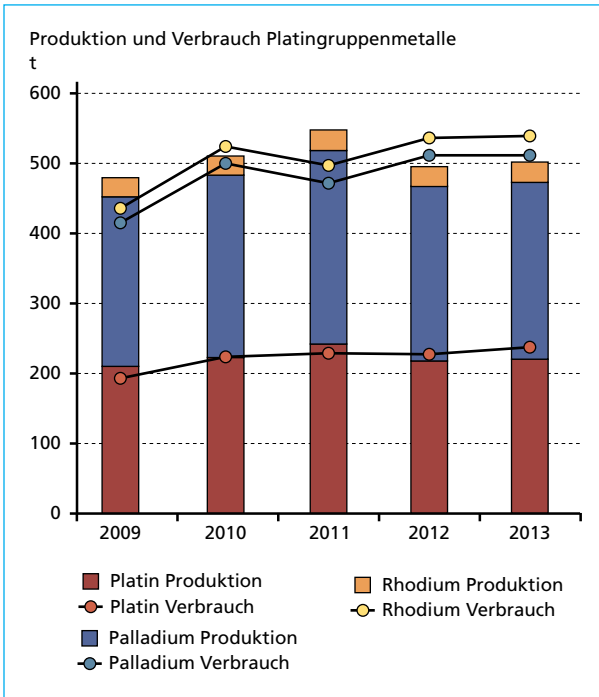


Bild 1:

Entwicklung der PGM Produktion (primär und sekundär) und des Verbrauchs weltweit in Tonnen (gestapelt)

Darstellung nach:

Platinum 2013; Platinum 2013 Interim Review; November 2013; Johnson Matthey, Hertfordshire

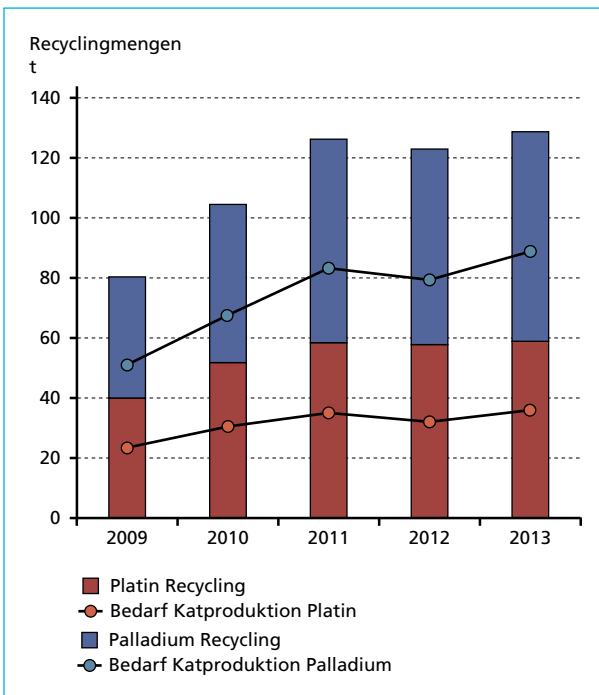


Bild 2:

Entwicklung der Recyclingmengen an Platin und Palladium und jeweiliger Verbrauch in der Fahrzeug-Katalysatoren-Herstellung

Darstellung nach:

Platinum 2013; Platinum 2013 Interim Review; November 2013; Johnson Matthey, Hertfordshire

Die Sekundärproduktion basiert vor allem auf dem Recycling von gebrauchten Fahrzeugkatalysatoren und konnte über die letzten fünf Jahre annähernd eine Verdopplung der Mengen auf etwa hundert Tonnen verzeichnen. Die zweite wesentliche Säule des Recyclings, der Bereich Schmuck, blieb dagegen konstant im Bereich von 25 bis dreißig Tonnen pro Jahr. Auf diesem Niveau kann das Recycling von PGM heute zwei Drittel des Bedarfs im Bereich Fahrzeugkatalysatoren decken (Bild 2). Im Bereich Recycling von gebrauchten Fahrzeugkatalysatoren ist ein Wachstum um mehr als zehn Prozent im kommenden Jahr vorausgesagt. Gleichzeitig wird der Bedarf in diesem Segment, vor dem Hintergrund bspw. der boomenden chinesischen Autoindustrie zu einem neuen Nachfragehoch für Rhodium und Platin führen.

Weder der steigende Bedarf noch die steigenden Defizite zeigten bisher direkte Auswirkungen auf den Preis der PGM. Das Bild 3 zeigt die Preisentwicklung der letzten fünf Jahre beispielhaft für die Metalle Platin, Palladium und Rhodium. Lediglich für Palladium ist ein Aufwärtstrend im Preis zu konstatieren.

Der Wert von Platin liegt damit in gleichen Größenordnungen wie der von Gold, welcher im Januar 2014 bei 40.000 US-Dollar pro Kilogramm lag [3].

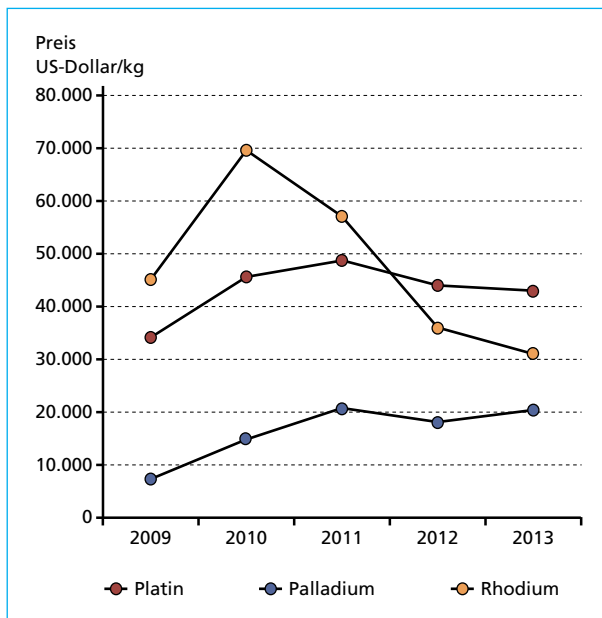


Bild 3:

Preisentwicklung für Platin, Palladium und Rhodium

Darstellung nach:

Platinum 2013: Platinum 2013 Interim Review; November 2013; Johnson Matthey, Hertfordshire

## 2. Fahrzeugkatalysatoren

Seit Mitte der achtziger Jahre wurden in Deutschland in zunehmendem Maße Katalysatoren in Fahrzeuge eingebaut. Der Einbau erfolgte zunächst auf freiwilliger Basis und wurde durch Steuererleichterungen begünstigt. Dieses Programm war so erfolgreich, dass bereits 1990 und damit drei Jahre vor der rechtlichen Verpflichtung, praktisch alle

neuzugelassenen Fahrzeuge in Deutschland mit einem Katalysator ausgerüstet waren. Bei einer durchschnittlichen Lebensdauer der Automobile von zwölf Jahren sind alle heute zu entsorgenden Altfahrzeuge mit einem Katalysator ausgerüstet [4].

Der sogenannte geregelte *Drei-Wege-Katalysator* reduziert die drei Umweltschadstoffe Stickoxide, Kohlenwasserstoffe und Kohlenmonoxid um etwa neunzig Prozent, indem die Nachverbrennung von Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffen zu Kohlendioxid und Wasser gefördert wird und Stickoxide zu elementarem Stickstoff umgewandelt werden. Um den gesetzlich geforderten hohen Wirkungsgrad zu erreichen, müssen neben einer exakten Steuerung des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses auch optimale chemische Katalyse-Bedingungen vorherrschen. Hierfür sorgt eine aus den Edelmetallen Platin, Rhodium und Palladium bestehende Katalysatorschicht, die auf das Innere eines keramischen Trägermaterials aufgebracht wird. Der Träger ist in der Regel ein wabenförmiger Monolith aus Aluminium-Silikat, alternativ – aber in deutlich geringerem Maße – werden auch metallische Trägermonolithen eingesetzt.

Der Monolith wird in einem Edelstahlgehäuse (Konverter) mit entsprechenden Anschlussstücken in die Abgasanlage des Fahrzeugs integriert. Zum Schutz vor thermischen Spannungen zum Gehäuse und vor dem Hintergrund der hohen Bruchempfindlichkeit des keramischen Monolithen wird dieser in ein elastisches Zwischenlager eingebracht. Zur Anwendung kommen dafür Quellmatten aus Blähglimmer und Aluminium-Silikatfasern oder metallische Netze. Den Aufbau und die Funktion eines Katalysators zeigt das folgende Bild 4.

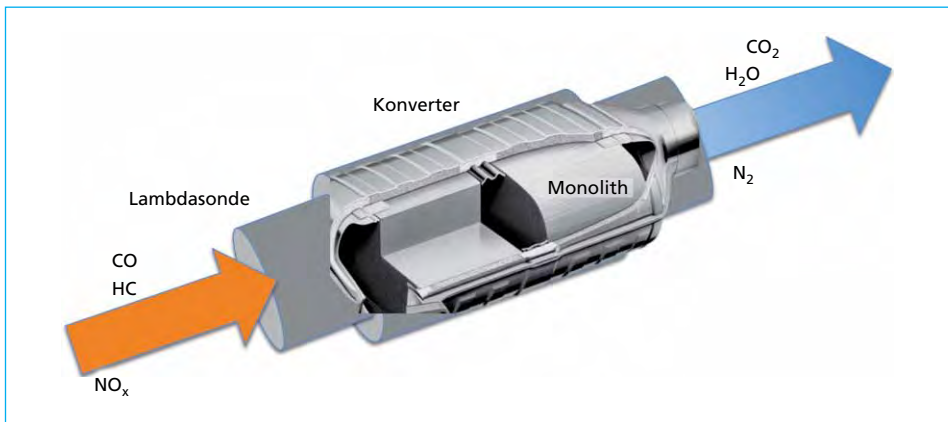


Bild 4: Aufbau und Funktion eines Fahrzeugkatalysators

Das durchschnittliche Monolith-Gewicht eines Autokatalysators beträgt je nach Größenklasse fünfhundert bis tausend Gramm. Die Quellmatte aus keramischen Fasern trägt mit etwa hundert bis dreihundert Gramm zum Gesamtgewicht des Katalysators von etwa 4,5 Kilogramm bei und entspricht damit je nach Katalysatortyp einem Anteil von zwei bis sechs Prozent. Der PGM-Gehalt im Monolith liegt zwischen tausend und fünftausend Gramm PGM/t Monolith [1, 4].

## Aufkommen

Wie oben beschrieben, sind heute alle Personenkraftwagen (Pkw) in Deutschland mit einem Katalysator ausgerüstet. Bei einem Bestand von gegenwärtig mehr als 42 Millionen Pkws besteht ein hohes Potenzial, welches bei Austausch des Katalysators oder bei der Außerbetriebsetzung der Fahrzeuge erschlossen werden kann. Die Zahl der Pkw-Löschungen wird vom Kraftfahrtbundesamt (KBA) ermittelt. Im Jahr 2012 sind in Deutschland etwa 9,4 Millionen Fahrzeuge außer Betrieb gesetzt worden, darunter acht Millionen Pkws. Nach Schätzungen des Kraftfahrtbundesamtes wurden etwa vierzig Prozent dieser Fahrzeuge endgültig stillgelegt. Allerdings werden nicht alle stillgelegten Fahrzeuge auch in Deutschland verwertet. So wurden im Jahr 2010 2,9 Millionen der endgültig abgemeldeten Pkw als Gebrauchtwagen exportiert, nur 1,6 Millionen wurden als Altfahrzeuge verwertet. Nicht nachweisbar ist der Verbleib der restlichen 3,5 Millionen endgültig stillgelegter Pkws, welche in der Regel als Gebrauchtfahrzeuge deklariert werden. Das Umweltbundesamt führt statistisch nicht erfasste Exporte, Diebstahl oder Nutzung auf nicht öffentlichem Gelände als Verbleib an [8]. Nach den Angaben der statistischen Ämter ist die Zahl der Altfahrzeuge, welche in deutschen Shredderbetrieben verwertet wurden, von etwa 540.000 in 2004 auf etwa 420.000 in 2008 gesunken. Im Jahr 2009 vervierfachte die *Abwrackprämie* die Anzahl auf 1.784.297 Altfahrzeuge. Im Jahr 2010 sank die Anzahl der Altfahrzeuge mit 503.208 wieder auf das Niveau der Vorjahre. Damit pendelt sich das deutsche Katrecycling-Potenzial aus stillgelegten Fahrzeugen auf etwa 500.000 Katalysatoren pro Jahr ein.

Die Standzeit der Katalysatoren im Fahrzeug stimmt in der Regel mit der Betriebszeit überein. Lediglich ein bis zwei Prozent der Katalysatoren werden während der Laufzeit eines Pkws ausgetauscht, teils aus Funktionsmangel, teils auf Grund von mechanischer Beschädigung. Damit ist das zusätzliche Potenzial aus Wartungen und Reparatur als sehr gering zu bewerten. Die tatsächlich in Deutschland behandelten und bemusterten Mengen übersteigen das deutschen Potenzial jedoch erheblich, da die Sammlung der gebrauchten Fahrzeugkatalysatoren global betrieben wird.

Entsprechend zeigt die Statistik des Umweltbundesamtes für 2012 [7], dass in Deutschland 108 Erzeuger für Katalysatoren unter der AVV Nr. 160807\* zugelassen sind, bei denen etwa 8.200 Tonnen Katalysatoren anfallen und den 15 Behandlungsanlagen in Deutschland oder im Ausland überlassen werden. Zusätzlich wurden in 2012 etwa 5.500 Tonnen Katalysatoren aus dem Ausland importiert. Die wesentlichen Mengen stammen aus Großbritannien, Norwegen, Dänemark und der Schweiz. Aber auch aus Irland, Schweden, Ungarn, Südafrika, Nigeria, Frankreich und anderen Staaten werden Mengen eingeführt. Zusätzlich dürften weitere Mengen über die AVV Nr. 191211\*, z.B. aus Litauen und Italien hinzukommen.

Die Exporte zeigen, dass die Katalysatoren (AVV 160807\*) oder das Monolithenpulver (AVV 191211\*) nach der Bemusterung vor allem nach Belgien, nach Großbritannien und in die USA ins Refining gehen. Die zu beobachtenden Gewichtsunterschiede sind darauf zurückzuführen, dass im Export im wesentlichen Monolithpulver zu verzeichnen ist, während die Zahlen der Erzeugung und des Importes auch Mengen kompletter Katalysatoren einschließen.

### 3. Der Recyclingprozess für gebrauchte Autokatalysatoren

Das Ziel des Autokatalysatoren-Recyclings ist die Wiedergewinnung der enthaltenen Edelmetalle. In der Sekundärproduktion kann aus Recyclingskats 1 Gramm PGM aus 1 Kilogramm Katalysatormonolith gewonnen werden. Um alternativ 1 Gramm Platin im Primärprozess aus einer natürlichen Lagerstätte zu gewinnen, müssen dagegen etwa 300 kg Gestein aus bis zu 2.000 Metern Tiefe abgebaut, gefördert, fein gemahlen und konzentriert werden. Die Raffination schließt sich in beiden Fällen an.

Der Recyclingprozess von gebrauchten Katalysatoren besteht aus den vier Prozessschritten

- Sammlung/Erfassung,
- Entmantelung,
- Aufbereitung mit Zerkleinerung, Homogenisierung und Bemusterung des keramischen Monolithen,
- Recycling der enthaltenen Metalle.

Das nachfolgende Bild 5 zeigt ein Schema des Kreislauf-Prozesses.

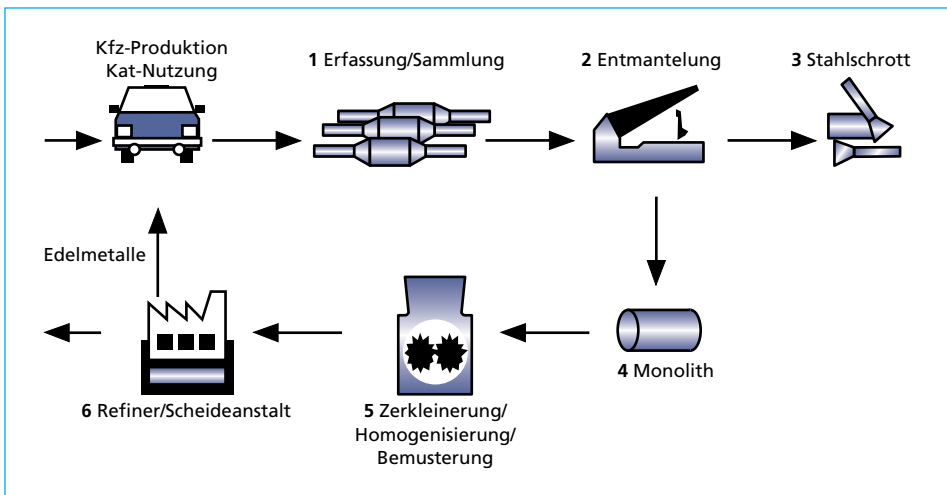


Bild 5: Katalysatorrecycling und Rückführung der Edelmetalle

Der gebrauchte Katalysator wird vollständig inklusive Stahlgehäuse, mit innenliegendem Monolith und Quellmatte sowie ggf. den beiden Anschlussrohren gesammelt (1). Bei der Entmantelung (2) wird der keramische Monolith von Stahlbestandteilen getrennt. In der Regel erfolgt das Öffnen der Katalysatoren mechanisch manuell durch das Aufschneiden mittels Schere oder Bandsäge. Eine gute Absaugung und ein schonender Umgang mit dem Keramikkörper minimieren die Edelmetallverluste in diesem Arbeitsgang. Während der anfallende Stahlschrott unmittelbar und meist lokal verwertet wird (3), werden die keramischen Bestandteile einer weitergehenden Zerkleinerung zugeführt (4).

Keramischer Monolith und Staubfraktion werden zur Homogenisierung in Kugelmøhlen feinstvermahlen. Auch hier sorgen Entstaubungsanlagen für die maximale Erfassung der edelmetallhaltigen Stoffe (5).

In spezialisierten Scheideanstalten (6) werden die Platinmetalle aus der gemahlten Fraktion gewonnen. Die Rückgewinnungsquoten der hydro- oder pyrometallurgischen Prozesse liegen bei bis zu 95 Prozent bei Platin und 80 Prozent bei Rhodium, d.h. dass es beim Refining des edelmetallhaltigen Monolithpulvers aus verfahrenstechnischen Gründen zu sog. Verhüttungsverlusten kommt.

Bei den weltweit mehr als 10.000 Altfahrzeug-Demontagebetrieben (in Deutschland arbeiteten im Jahr 2012 etwa 890 Betriebe) erfassen aktuell mehr als 200 sogenannte Sammler die ausgebauten Altkatalysatoren und beliefern damit – zerlegt oder im Ganzen – etwa 20 größere Aufbereitungsbetriebe, welche eine professionelle Homogenisierung und Bemusterung des gewonnenen Monolithenpulvers durchführen. Die Aufbereiter liefern das Monolithenpulver wiederum an etwa zehn Schmelzbetriebe zur Konzentratherstellung, welche dieses Konzentrat an die sechs weltweit existierenden Refiner für PGM zur Rückgewinnung der PGM liefern. Die abnehmende Anzahl der Marktteilnehmer in der fortschreitenden Wertschöpfungskette führt zu alternativlosen Verwertungsoptionen und zu steigenden Abhängigkeiten über die bestehenden Verwertungswege. Vor diesem Hintergrund ist das im Folgenden beschriebenen Projekt als eine weitere spezifische Erschließung der Wertschöpfung durch die Errichtung einer in Deutschland angesiedelten Schmelze für Monolithenpulver zu bewerten.

## 4. Plasmaschmelze als Rückgewinnungsschritt im Recycling von PGM aus Fahrzeugkatalysatoren

In der weiteren Verarbeitung von recyceltem Monolithpulver erfolgt – wie in der Primärproduktion oben dargestellt – ein Schmelzschrift, um die PGM weiter anzureichern. Dieser Schritt wird in der Regel bei den Refinern, z.B. in Belgien, Großbritannien oder den USA vollzogen. Das in Aschaffenburg ansässige Unternehmen Duesmann & Hensel Recycling GmbH weitet seine Aufbereitungsaktivitäten jetzt erstmals aus und errichtet einen Plasmaschmelzofen zum Recycling von PGMs aus Fahrzeugkatalysatoren in Deutschland. Der neu konzipierte Plasmaschmelzofen ist dabei speziell auf die Bedürfnisse der PGM-Rückgewinnung aus Katalysatoren-Monolith ausgelegt und ist der einzige dieser Art in Kontinentaleuropa.

Das künftige Schmelzwerk wird ein PGM-Konzentrat mit Gehalten im Prozentbereich erzeugen, aus welchem im abschließenden Refining-Schrift die PGM extrahiert werden.

### Schmelzprozess

Der Monolith (s. Bild 4) der Fahrzeugkatalysatoren enthält ein keramisches Material, welches auf Grund seiner hohen thermischen Stabilität gezielt ausgewählt wurde. Zusammen mit der PGM-haltigen Schicht aus Aluminiumoxid, dem sogenannten



Washcoat, ergibt sich eine keramische Mischung, die erst bei Temperaturen von über 1.500 °C schmelzen kann. Die Schmelze erfolgt deshalb in einem Plasmaschmelzofen. Sie reichert die PGM in einem Sammlermetall an, während die keramischen Bestandteile eine verglaste Schlacke bilden, welche anschließend als Baustoff verwertet werden kann.

Zur Realisierung der benötigten Temperaturen wird ein Plasmastrahl genutzt, welcher bei Temperaturen von 8.000 bis 10.000 °C ionisiertes Argon erzeugt. Argon ist ein Edelgas, welches nicht mit anderen Elementen reagiert, d.h. es geht keine chemischen Verbindungen mit den keramischen oder metallischen Bestandteilen der Schlacke ein. Mit einem Schmelzvolumen von nur 75 Litern kann eine effiziente und schnelle Aufkonzentration der Edelmetalle sichergestellt werden. Der Plasmastrahl wirkt als Kathode, die Schmelze inkl. Tiegel wirkt als Anode. In dem Schmelzprozess wird das Monolithenpulver gemeinsam mit Zuschlagstoffen in einen optimal dünnflüssigen Zustand gebracht, so dass das Sammlermetall die Edelmetalle aufnehmen und sich beide Phasen gut absetzen können.

Das Abgas der Schmelze wird vollständig erfasst, nachverbrannt, entstaubt und anschließend einer Abgasreinigung zugeführt. Das gereinigte und abgekühlte Abgas wird nach Passieren des Abgasventilators via Kamin an die Atmosphäre abgegeben.

## 5. Zusammenfassung

Das Recycling von gebrauchten Fahrzeugkatalysatoren ist ein seit Jahren erfolgreiches Beispiel der globalen Ressourcenwirtschaft. Der Katalysator, welcher nicht mehr als zwei Promille des Fahrzeuges repräsentiert, wird in weltumspannenden Sammelsystemen von international tätigen Unternehmen gesammelt und dezentral oder zentral über verschiedene Konzentratstufen recycelt. Während die deutschen Betriebe weltweit führend in der Sammlung und der Bemusterung der Katalysatoren sind, erfolgt die weitergehende Aufbereitung bisher nicht in Deutschland. Keiner der weltweit sechs hochspezialisierten Refiner ist in Deutschland ansässig, weshalb die weitere Wertschöpfung im Wesentlichen in Belgien, den USA und Großbritannien erfolgt.

Mit dem hier vorgestellten Projekt soll diese (Wettbewerbs-)Situation aufgebrochen und ein Schmelzverfahren zur Extraktion der PGM aus der keramischen Matrix des Monolithenpulvers in Deutschland etabliert werden. Auf diese Weise wird ein wesentlicher Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz und zur Versorgungssicherheit Deutschlands mit kritischen Metallen geleistet.

## 6. Quellen

- [1] De Man, R.; Reller, A.: Sind wir mit dem Autoabgaskatalysator auf dem richtigen Weg? interne Publikation, 2003 – <http://www.rdeman.nl/site/download/Katalysator.pdf>, Daten vom: 31.01.2014

- [2] Ernst, M.: Eine Weltgeschichte des Platins: das achte Metall; BoD – Books on Demand, 2010
- [3] Finanznet – <http://www.finanzen.net/rohstoffe/goldpreis>, Daten vom 30.1.2014
- [4] Kuchta, K.: Recycling von gebrauchten Autokatalysatoren Neue arbeitssicherheitstechnische und abfallrechtliche Regelungen, Metall 58 (5): 287-289, 2004
- [5] Platinum 2013 Interim Review; November 2013; Johnson Matthey, Hertfordshire, 2013
- [6] Rudolph, H.: Das Edelmetallbuch, Berlin: epubli Verlag, 2013
- [7] Umweltbundesamt (Hrsg.): Grenzüberschreitende Verbringung von zustimmungspflichtigen Abfällen Datenerhebung nach dem Umweltstatistikgesetz 2012 – Import Berlin, Juni 2013
- [8] Umweltbundesamt (Hrsg.): Altfahrzeuge – <http://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/umweltbewusstleben/altauto-altautoverwertung>; Daten vom 30.10.2014

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.