

Kaskadennutzung im Automobil – Realität oder Zukunftsmusik?

Alexandra Pehlken und Matthias Kalverkamp

1.	Nachhaltiges Ressourcenmanagement und Kaskadennutzung	174
2.	Kaskaden-Anwendungsbeispiel <i>Altreifen</i>	178
3.	Diskussion und Ausblick.....	180
4.	Literatur	181

Die im BMBF Förderprogramm Globaler Wandel bewilligte Nachwuchsforschergruppe *Cascade Use* unterstützt Anstrengungen gesellschaftlicher Akteure langfristig weniger Ressourcen zu verbrauchen und CO₂-Emissionen zu reduzieren. Die Mitglieder der Gruppe werden ein Schlüsselinstrument zur Entscheidungsfindung entwickeln und erproben. Die interdisziplinäre Arbeit konzentriert sich auf die beiden Kernfragen, wie Materialien in Lebenszyklen eingebunden sind bzw. wann sie wieder verfügbar werden, um sie entweder wiederzuverwenden oder weiterzuverwerten. Das Ziel dabei ist, Ressourcen möglichst lange einer Nutzungsphase zuführen zu können, damit keine neuen Primärrohstoffe wie Stahl, Kupfer und insbesondere die kritischen Materialien wie beispielsweise Platingruppenmetalle eingesetzt werden müssen. Mit der Gewinnung der Primärrohstoffe sind teilweise erhebliche Umweltbelastungen verbunden, die verringert werden können, indem Sekundärrohstoffe durch eine Kaskadennutzung langfristig im Wirtschaftskreislauf gehalten werden. Nachdem vorrangig Produkte weiterverwendet werden, werden sie anschließend durch Recycling weiterhin für andere Produkte als Sekundärrohstoff zur Verwendung stehen, ohne Primärrohstoffe zu verwenden. Eine Ressourcenschonung genießt bei diesem Ansatz oberste Priorität. Die Automobilbranche als Beispiel ist mit einem Umsatz von einem Fünftel der Deutschen Gesamtindustrie eine DER Größen in der deutschen Wirtschaft. Jeder siebte Arbeitsplatz in Deutschland steht direkt oder indirekt mit dem Automobil in Verbindung. Deutsche Automarken genießen seit Jahrzehnten einen exzellenten Ruf in der ganzen Welt. Auch auf dem Gebiet des Automobilrecyclings ist Deutschland recht innovativ und erfolgreich.

Effizientes Recycling ist verbunden mit einem nachhaltigen Ressourcenmanagement, das auf der 3R bzw. 4R Hierarchie: Reduce, Reuse, und Recycle bzw. Recreate basiert. Zum einen werden, wenn möglich, keine überflüssigen Materialien im Auto verbaut und das Weiternutzen, bzw. Aufarbeiten einzelner Bauteile (z.B. Motor) angestrebt und zum anderen das Recycling vorangetrieben. Durch den Erhalt der Materialien im Kreislauf werden vor allem Emissionen aus der Primärgewinnung eingespart und sind in den meisten Fällen ökologischer. Im Falle wirtschaftsstrategischer Rohstoffe, die zugleich meist als kritische Ressourcen eingestuft sind, werden somit anthropogene Lagerstätten eröffnet, die es zu erschließen gilt.

Bedingt durch den Einsatz von Batterien und einer zunehmenden Zahl elektronischer Bauteile in Neuwagen, besteht heute ein Kraftfahrzeug aus einer Vielzahl höchst unterschiedlicher Materialien, von denen viele nur in begrenzten Quantitäten und/oder nur an wenigen Orten auf der Erde zu gewinnen sind. Als Motivation dient außerdem der seit einigen Jahren tiefgreifende Wandel der Automobilantriebstechnik weg vom herkömmlichen Verbrennungsmotor hin zu alternativen Antrieben. Den ersten Wandel erfuhren wir mit der Einführung des Katalysators und aufgrund der stark nachgefragten Platingruppenmetalle war sehr schnell ein Recyclingkonzept aufgestellt. Die heutigen wirtschaftsstrategischen Metalle im Auto sind jedoch nicht unbedingt nur einem Bauteil im Auto zuzuordnen (z.B. Elektronik mit Anteilen von Seltenen Erden, Indium und Gallium) bzw. sind in den neuen Batterietechnologien sowie dem Motor vorhanden (Lithium, Nickel, Kobalt, Seltene Erden in Form von Neodym, Dysprosium, Samarium, Terbium). In der breiten Öffentlichkeit gelten diese neuen Antriebstechnologien als *grün*, da sie augenscheinlich keine oder nur sehr wenige Emissionen verursachen und uns in dem Bestreben unterstützen, wertvolle und nur mit erheblichen Konsequenzen für die Umwelt zu fördernde Energieträger zu ersetzen.

Diese Betrachtungsweise, die sicher nicht falsch ist, lässt allerdings einen wichtigen Aspekt außer Acht: Ein Kraftfahrzeug kann erst dann als *nachhaltig* und *umweltverträglich* in Herstellung und Betrieb bezeichnet werden, wenn der gesamte Lebenszyklus von der ersten Konstruktionsplanung über die Nutzungsdauer hinweg bis zum vollständigen Recycling auf einen nachhaltigen und effizienten Einsatz von Materialien und Energie hin optimiert worden ist. Der Ansatz der Kaskadennutzung kann einen großen Beitrag dazu leisten.

1. Nachhaltiges Ressourcenmanagement und Kaskadennutzung

Die Kaskadennutzung umfasst in der Umgangssprache die Mehrfachnutzung eines Rohstoffs über mehrere Stufen. Dies bedingt in der Regel eine besonders nachhaltige und effektive Nutzung sowie eine Einsparung beim Rohstoffeinsatz von Rohstoffen. In der Biomassenutzung ist dies ein sehr oft genutzter Ansatz, bei nichtbiologischen Produkten ist er eher seltener gebräuchlich.

Ein bekanntes Zitat von dem UBA-Vizepräsidenten Thomas Holzmann in 2014 veranschaulicht den Bezug deutlich: *Die beste Form Biomasse einzusetzen, ist die Kaskadennutzung. Holz oder andere pflanzliche Stoffe sollen so lange wie möglich stofflich genutzt werden, für Bauholz oder Möbel und anschließend für neue Produkte recycelt werden. Erst die Rest- und Abfallstoffe dürfen für die Energiegewinnung eingesetzt werden. Das Umweltbundesamt empfiehlt daher, vergleichbare Rahmenbedingungen für stoffliche und energetische Biomassenutzung zu schaffen und den Ausbau der Kaskadennutzung voranzutreiben. Das ist die optimale, ressourceneffizienteste Verwertung der Biomasse [11].* Der zentrale Ansatz einer Kaskadennutzung basiert auf der Fragestellung:

Welche strategischen Ressourcen und Reststoffe sind geeignet für eine ökologisch und ökonomisch effiziente Kaskadennutzung und ist dieser Ansatz der Kaskadennutzung übertragbar auf das Automobil?

In Anbetracht der Komplexität der Fragestellung werden in diesem Beitrag nur zwei Ansätze der Kaskadennutzung im Kontext des Automobils aufgezeigt. Die Ergebnisse aus der Forschung sollen generell helfen, Strategien zu entwickeln um die Kombination von Wieder-, bzw. Weiternutzung und werkstofflichem Recycling im Hinblick auf eine ressourceneffiziente Kaskadennutzung im Kreislauf zu erhalten. Die Nachhaltigkeit der Rohstoffversorgung soll damit insgesamt verbessert werden und gleichzeitig sollen Emissionen reduziert werden. Unser Ansatz soll die Grenzen der Kaskadennutzung einbeziehen, da meist ein zu hoher Energieeintrag beim Recycling dem Wert eines wiedergewonnenen Materialstroms entgegensteht.

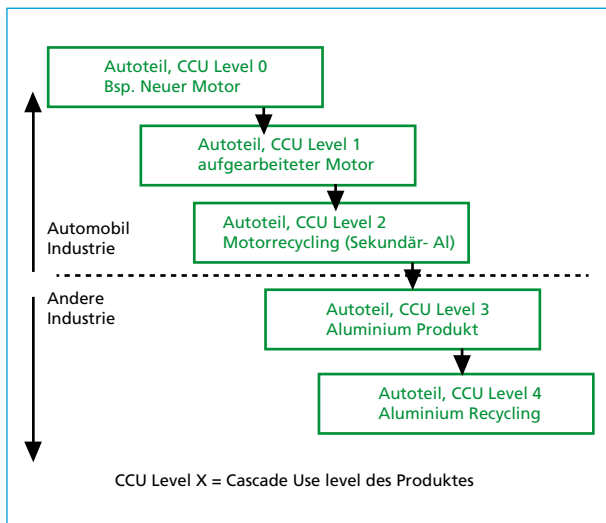


Bild 1:

Kaskadennutzung eines Bauteils
(hier: PKW Motor)

Das Potential des nachhaltigen Ressourcenmanagements ist als sehr hoch anzusehen und Wiederverwendung hat unumstritten die beste Umweltrelevanz und verursacht die geringsten Emissionen. Bauteile unterscheiden sich dabei in a) Bauteile ohne Wiederaufarbeitung und b) aufgearbeitete Bauteile (remanufactured, CCU Level 1). In beiden Fällen wird der Eintrag neuer Ressourcen stark minimiert und strategische Ressourcen bleiben länger im Kreislauf erhalten. Recyclingbauteile, die weder unter a) noch b) fallen, werden werkstofflich verwendet und gelangen in neue Produkte (CCU Level 2 und höher), in Fällen von heizwertreichen Fraktionen auch energetisch. Dies ist in Bild 1 am Beispiel eines Verbrennungsmotors aufgezeigt, der vorrangig aus Aluminiumguss besteht.

Ein weiterer, ebenso bedeutsamer Aspekt ist die Gesetzgebung im Recycling: Die zunehmende Rohstoffvielfalt im Auto und die Recyclingziele führen zu immer anspruchsvolleren Recyclingtechnologien. So sieht z.B. die *ELV Directive*¹ der EU aktuell ab diesem Jahr 2015 eine Recyclingquote von 95 Prozent (bezogen auf das durchschnittliche Fahrzeuggewicht) für Altfahrzeuge vor; das bedeutet zwingend, dass unter Berücksichtigung alternativer Antriebstechnologien neue Recyclingtech-

¹ End of Life Vehicle Directive

nologien zu entwickeln sind, bzw. bestehende unter Umständen verbessert werden. In Deutschland werden die Quoten bisher eingehalten, allerdings wird der Druck auf heizwertreiche Materialien größer, da der Anteil der energetischen Verwertung sinkt. Aus diesem Grund wählen wir für diesen Artikel das Beispiel der Altreifen als zweites Beispiel (neben dem Motor, Bild 1).

Die Verbindung von Materialvielfalt, Recyclingzielen und rohstoffstrategischen Fragen machen eine umfassende Betrachtung des ganzen Lebenszyklus eines Fahrzeugs erst recht in Bezug auf Elektromobilität relevant. Ein gut funktionierendes Beispiel für ressourceneffizientes Recycling stellt das Potential der oben erwähnten Katalysatoren und der Platingruppenmetalle dar. Die ELV-Directive setzt klare Regeln für das Handhaben der Autokatalysatoren in der EU. In 2007 wurden 28 Tonnen Platin und 31 Tonnen Palladium aus Autokatalysatoren weltweit durch Recycling gewonnen, was 15 Prozent der jährlichen Weltprimärförderung der genannten Metalle entspricht. Aufgrund des Technologiewandels im Auto wird in Zukunft auch das Recycling zu überdenken sein. Verschiedene Studien befassen sich bereits mit dem Wandel [1, 3, 12]. Beim Elektrofahrzeug werden einige klassische Bauteile des ICE-Fahrzeugs wegfallen, wie der Verbrennungsmotor selbst, das Getriebe, die Kupplung, die Tankanlage, die Abgasanlage (inkl. Katalysator), der konventionelle Kühler und die Wasserpumpe. Neuhinzukommende Komponenten werden hauptsächlich die Elektromaschine, die Batterie, sowie Batteriesystem und die Leistungselektronik betreffen. Der dadurch wachsende Bedarf an Metallen ist in der OPTUM Studie schon ermittelt worden [3].

Die wirtschaftsstrategischen Rohstoffe sind Gegenstand unzähliger Untersuchungen und überall als bedeutend für die Elektromobilität eingestuft. Der hohe Materialbedarf im Elektrofahrzeug steht allerdings auch in Konkurrenz mit anderen Anwendungen (z.B. Windkraftanlagen). In der Elektromobilität können nach Sauer [12] folgende Elemente mit großer Priorität angegeben werden:

- **Neodym** • *Silber*
- **Praseodym** • *Kupfer*
- **Dysprosium** • *Platin*
- **Terbium** • *Palladium*
- *Indium* • *Ruthenium*
- **Gallium** • **Lithium**
- *Germanium* • **Kobalt**
- *Gold*

Fett: Hoher Materialbedarf für die Elektromobilität

Kursiv: Geringer Materialbedarf für die Elektromobilität; aber hohe Konkurrenz mit anderen Anwendungen (z.B. Indium auch in Photovoltaikanlagen)

Platin und Palladium sind durch Autokatalysatorrecycling im derzeitigen Stand der Technik des Autorecyclings als gut funktionierende Sekundärströme einzuordnen. Auf das erwähnte Beispiel der 2007 durch Recycling weltweit gewonnenen Menge von

28 Tonnen Platin und 31 Tonnen Palladium aus Autokatalysatoren folgen Rohstoff-erlöse von etwa 927 Millionen EUR für Platin (Rohstoffpreis Platin: 33.111 EUR/kg am 29.01.2014) und etwa 523 Millionen EUR für Palladium (Rohstoffpreis Palladium: 16.876 EUR/kg am 29.01.2014).

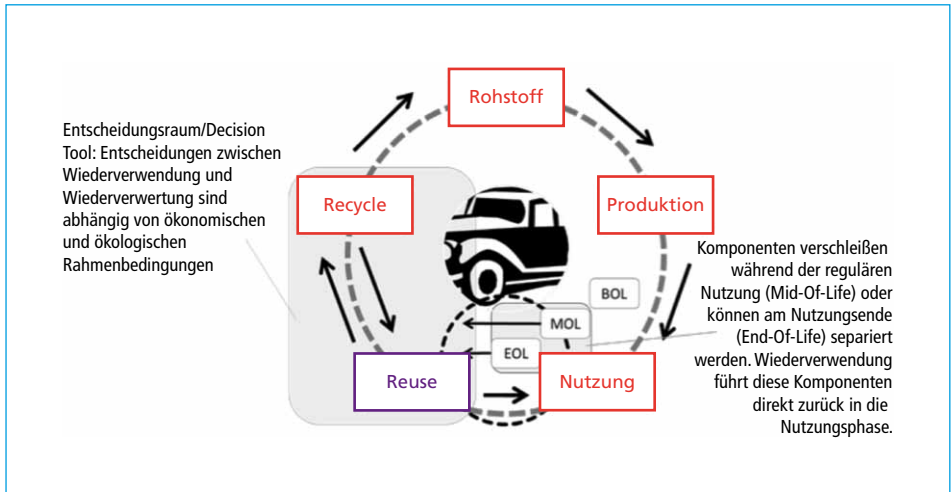


Bild 2: Entscheidungsraum des Decision Tools – Wiederverwendung vs. Wiederverwertung

Das übergeordnete Forschungsziel ist ein zu entwickelndes Entscheidungstool, welches auf einem Ökobilanzansatz und Materialflussanalyse aufbaut und die ökonomische sowie ökologische Last von Altautobauteilen bestimmt und bewertet. Die Grenzen der Kaskadennutzung werden in ein zu entwickelndes Entscheidungsinstrument (Decision Tool) eingebunden. Dabei wird eine Methode zur Einschätzung der lebenszyklusübergreifenden Materialverfügbarkeit entwickelt werden. Anhand der errechneten eingesparten CO₂-Emissionen innerhalb der Recyclinghierarchie kann der Beitrag zur Ressourcenschonung bestimmt werden.

Gerade im Bereich von strategischen Rohstoffen, die im Auto oft dispers verteilt sind, ist die Hemmschwelle zum Recycling oft sehr hoch, da eine hohe Anzahl von Bauteilen demontiert, gesammelt und zum Recycler transportiert werden muss. Oft sind die Kosten der Demontage schon so hoch, dass sich die weitere Aufbereitung kaum lohnt [9]. Mithilfe eines Entscheidungstools werden aktuelle Informationen zu Auto-recycling und -zusammensetzung in ein Modell überführt um eine Entscheidung zu unterstützen. Das Entscheidungstool soll Behörden, Regierungsvertretern, Firmen und Forschern dienen um ihre eigene Nachhaltigkeitsstrategie bzw. -ziele im Hinblick auf strategische Ressourcen zu verfolgen. Es macht den weiteren Verwendungsweg unter besten Ressourceneffizienzstrategien von Sekundärrohstoffen deutlich und minimiert rohstoffliche Verluste in Zukunft.

2. Kaskaden-Anwendungsbeispiel *Altreifen*

Kaskadennutzungen aus dem Automobil sind weniger bekannt, da ein großer Teil des Autos in den Schredder gelangt und anschließend oft metallurgisch verwertet wird. Auf diesem Wege kann das *Produkt* nicht weiterverfolgt werden, da es in der Schmelze mit anderen *Produkten* vermischt ist. Somit wird nicht unterschieden zwischen Autobauteilen und beispielsweise Computerbauteilen aus dem Recycling. Bei einer werkstofflichen Kaskadennutzung wird das Recycling-Bauteil separiert und getrennt aufbereitet.

Aufgrund der oben genannten gesetzlichen Änderungen der energetisch zu verwertenden Fraktion wird hier das Beispiel der Altreifen vorgestellt. Die Studien-Gesellschaft für Altgummi-Verwertungssysteme (GAVS) des Wirtschaftsverbandes der deutschen Kautschukindustrie e.V. erfasste im Jahr 2013 ein Altreifenaufkommen von 582.000 Tonnen. Demzufolge bleibt der Abfallstrom im Vergleich zum Vorjahr fast unverändert [6].

Bild 3 zeigt die Entwicklung des Altreifenaufkommens der Jahren 2008 bis 2013.

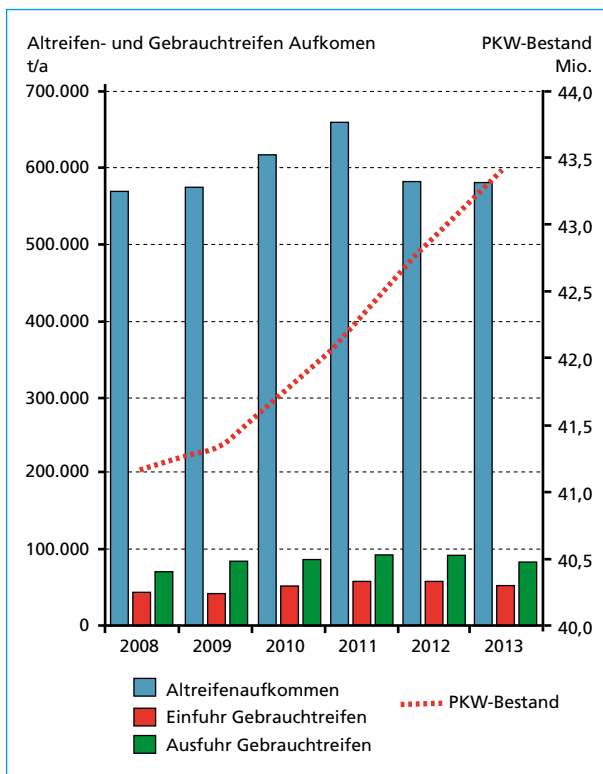


Bild 3:

Altreifenaufkommen im Inland sowie Ein- und Ausfuhr von Gebrauchtreifen von 2008 bis 2013

Quellen:

Aus- und Einfuhr Gebraucht Reifen nach GENESIS, 2014,

Luftreifen aus Kautschuk/gebraucht/Code WA40122000; Altreifenaufkommen nach GAVS, Gesellschaft für Altgummi-Verwertungs-System mbH, 2014 und Hirsch, Wirtschaftsverband der deutschen Kautschukindustrie e. V. (wdk), Frankfurt, 2014

Fahrzeugbestand nach KBA – Kraftfahrzeugbundesamt, Statistik 2014, Zugriff am 12. Dezember 2014

Aufgrund des hinter den Jahren 2011 zurückbleibenden Altreifenaufkommens sank die Ausfuhr von Gebrauchtreifen im Jahr 2013 um rund zehn Prozent, was dafür spricht, dass der *inländische Verwertungsmarkt über ausreichende Kapazitäten verfügt, um alle Altreifen zu verwerten* [6]. Desweiteren greift die Verwertungsbranche auf Importe von zerkleinerten Altreifen und Gummiabfällen zurück.

Durch die steigende Anzahl der zugelassenen Personenkraftwagen ist ein Anstieg der Alt- und Gebrauchtwagenreifen in den kommenden Jahren zu erwarten. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass durch Weiterentwicklungen in der Reifentechnik eine deutlich längere Reifen-Nutzungsdauer erreicht werden kann.

Bild 4 zeigt die Verteilung im Jahr 2013 nach der jährlichen Erfassung der GAVS in einem Sankey-Diagramm.

Den größten Anteil an der Altreifenverwertung macht die thermische Verwertung in der Zementindustrie aus [4]. Eine Ökobilanz-Studie der Firma Genan hat aufgezeigt, dass die Mitverbrennung von Altreifen in Zementwerken der stofflichen Verwertung unterzuordnen ist [2]. Aus Sicht der Kaskadennutzung ist eine höhere Verwertungsquote von Altreifen zu Granulaten und Gummimehl in den Folgejahren zu erhoffen.

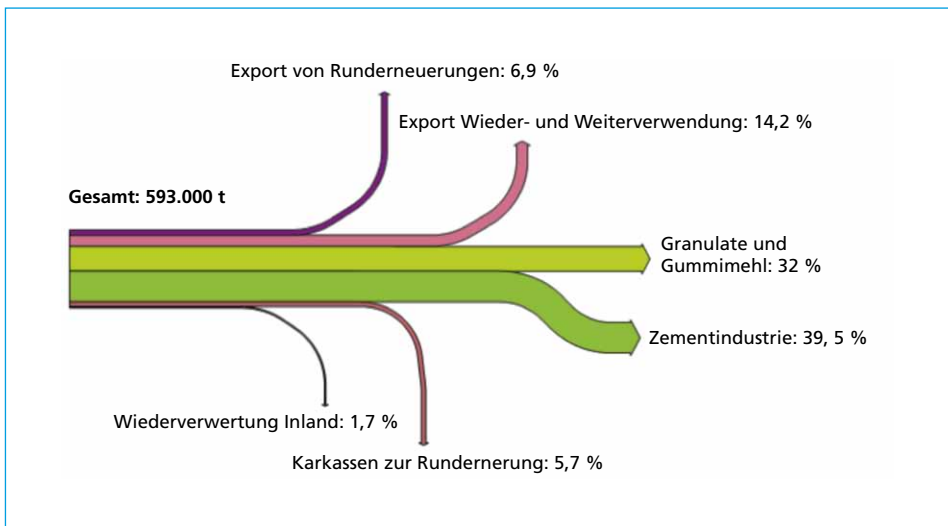


Bild 4: Verwertung und Wiederverwendung von Altreifen im Jahr 2013

Quelle: nach GAVS, Gesellschaft für Altgummi-Verwertungs-System mbH, 2014

Granulate und Gummimehle aus der mechanischen Altreifenaufbereitung zeigen bereits eine gute Anwendbarkeit aus werkstofflicher Sicht. Sie werden als Zuschlagstoffe in der Industrie, Chemie, Bau, Freizeit und dem Sport eingesetzt, wie beispielsweise als Kunstrasen, auf Spielplätzen, als Fallschutzbeläge, in Schuhsohlen oder wer kennt sie nicht: die Schaukel aus Altreifen. Recyclinggummi wird (bis auf Produktionsabfall) kaum wieder in der Reifenbranche in Neureifen eingesetzt, da die Einhaltung der Qualität aufgrund der verschiedenen Reifenmarken sehr unsicher ist. Erst kürzlich hat sich allerdings Michelin dazu freiwillig verpflichtet, das sie künftig nachhaltiger produzieren wollen:*Contribute to the development of the circular economy so that 30 % of the raw materials used by Michelin to make tires will be from renewable sources or recycled end-of-life tires....*[10].

Allerdings ist jetzt schon einiges Recyclinggummi wieder im Auto verbaut, ohne dass es der Normalbürger zu wissen scheint. Da Reifengummi bereits vulkanisiert ist, ist es schwieriger in einigen Produkten einzusetzen. Als sogenanntes Gummi-Kunststoffgemisch kann es allerdings an vielen Stellen im Auto eingesetzt werden. Meist sehen wir es im fertigen Auto nicht, da es als Schallisolierung in der Tür eingebracht ist oder in der Verkleidung.

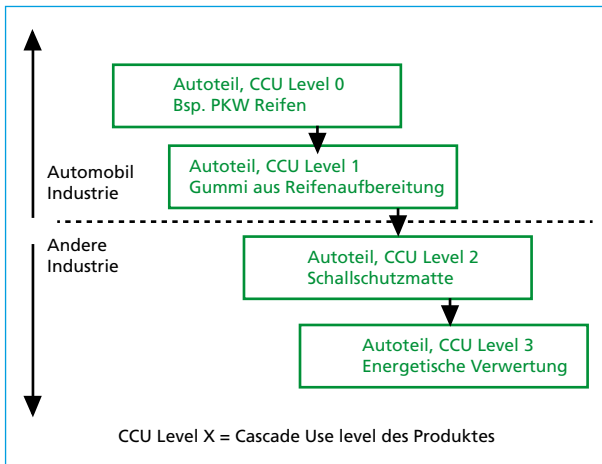


Bild 5:

Kaskadennutzung eines Bauteils (hier: PKW Motor)

Bild 5 zeigt eine mögliche Kaskadennutzung von Altreifen, an deren Ende aufgrund des hohen Heizwertes die energetische Nutzung (meist in Zementwerken) steht. Auch ohne ökobilanzielle Berechnungen ist es offensichtlich, dass hier leicht Ressourcen in Form von Energie und Material eingespart werden können.

3. Diskussion und Ausblick

Eine Kaskadennutzung von Autoteilen mag sinnvoll sein, ist aber noch keine gängige Praxis und daher schwer zu beurteilen bzw. zu bewerten. Bei einigen Bauteilen wird man an die Grenzen der Aufarbeitung gelangen, so dass direkt werkstofflich recycelt wird. Eine Kaskadennutzung in mehr als zwei Kaskaden wird wahrscheinlich auch in Zukunft in der Minderheit sein. Größtes Problem des Recyclings und damit auch der Kaskadennutzung ist die ungenaue Zusammensetzung der einzelnen Bauteile, die von den Herstellern nur vage mitgeteilt wird und meist nur durch annähernde Laboruntersuchungen ermittelt wird. Durch die Kreativität der Aufbereiter und Produktdesigner erhoffen wir uns mehr Produkte aus der zweiten, dritten oder vierten Kaskade. Die Nachwuchsgruppe *Cascade Use* wird verschiedene Bauteile aus dem Auto in den nächsten Jahren untersuchen.

Danksagung

Ein Teil dieser Forschung wurde ermöglicht durch das Förderprogramm *Globaler Wandel* des BMBF, das die Nachwuchsgruppe *Cascade Use* an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg mit dem Förderkennzeichen 01LN1310A fördert.

4. Literatur

- [1] Angerer, G.; Erdmann, L. et al.: Rohstoffe für Zukunftstechnologien. Einfluss des branchenspezifischen Rohstoffbedarfs in rohstoffintensiven Zukunftstechnologien auf die zukünftige Rohstoffnachfrage. Schlussbericht für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Fraunhofer ISI und IZT. 2009
- [2] Bakas, I.; Jorgensen, B.; Vogt, R.; Giegrich, J.: Comparative life cycle assessment of two options for waste tyre treatment: material recycling vs.co-incineration in cement kilns, Studie im Auftrag von Genan, 2009
- [3] Buchert, M.; Jenseit, W.; Dittrich, S.; Hacker, F.; Schüler-Hainsch, E.; Ruhland, K.; Knöfel, S.; Goldmann, D.; Rasenack, K.; Treffer, F.: Ressourceneffizienz und ressourcenpolitische Aspekte des Systems Elektromobilität. Arbeitspaket 7 des Forschungsvorhabens OPTUM: Optimierung der Umweltentlastungspotenziale von Elektrofahrzeugen, Abschlussbericht BMBF, 2011
- [4] Euwid Recycling und Entsorgung 32/2014, Kaum Änderung bei Altreifenentsorgung
- [5] GAVS, Gesellschaft für Altgummi-Verwertungs-System mbH, 2014
- [6] Hirsch, Wirtschaftsverband der deutschen Kautschukindustrie e. V. (wdk), Frankfurt, 2014
- [7] KBA – Kraftfahrzeugbundesamt, http://www.kba.de/cln_031/nn_1313060/SharedDocs/Publikationen/FZ/2012/fz13__2012__pdf,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/fz13_2012__pdf.pdf, 2012
- [8] KBA – Kraftfahrzeugbundesamt, Statistik 2014, Zugriff am 12. Dezember 2014
- [9] Kohlmeyer, R.: Todays End-of-Life Management of Vehicles – A Global perspective, World Resource Forum 2013, EMPA Workshop: Recovery of critical metals from ELV: What we know and what we should do about End of Life Management, Davos, 2013
- [10] Michelin, Betriebseigene Zeitschrift Horizons No 11, 2014
- [11] Umweltbundesamt, 2014, Biomasse: Beste Ökobilanz bei Nutzungskaskade, Pressemitteilung 07/2014
- [12] Sauer, A.; Thielmann: Energiespeichermonitoring für die Elektromobilität (EMOTOR). Trendbericht BMBF, Förderkennzeichen 03X4616A, Fraunhofer ISI, Karlsruhe 2013
- [13] Shell Mobility Scenario, Report, accessed April 17th, 2012: http://www-static.shell.com/static/deu/downloads/aboutshell/our_strategy/mobility_scenarios/shell_mobility_scenarios.pdf
- [14] VDI Guideline 4080; Recycling of cars – Quality of recycled car parts; July 2009; VDI-HandbuchUmwelttechnik

Recycling und Rohstoffe



Herausgeber: Karl J. Thomé-Kozmiensky und Daniel Goldmann • Verlag: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

CD Recycling und Rohstoffe, Band 1 und 2
 ISBN: 978-3-935317-51-1
 Erscheinungsjahr: 2008/2009
 Preis: 35.00 EUR

Recycling und Rohstoffe, Band 2
 ISBN: 978-3-935317-40-5
 Erscheinungsjahr: 2009
 Hardcover: 765 Seiten
 Preis: 35.00 EUR

Recycling und Rohstoffe, Band 3
 ISBN: 978-3-935317-50-4
 Erscheinungsjahr: 2010
 Hardcover: 750 Seiten, mit farbigen Abbildungen
 Preis: 50.00 EUR

Recycling und Rohstoffe, Band 4
 ISBN: 978-3-935317-67-2
 Erscheinungsjahr: 2011
 Hardcover: 580 Seiten, mit farbigen Abbildungen
 Preis: 50.00 EUR

Recycling und Rohstoffe, Band 5
 ISBN: 978-3-935317-81-8
 Erscheinungsjahr: 2012
 Hardcover: 1004 Seiten, mit farbigen Abbildungen
 Preis: 50.00 EUR

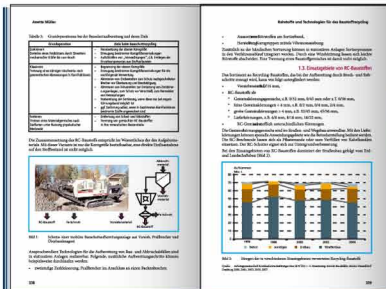
Recycling und Rohstoffe, Band 6
 ISBN: 978-3-935317-97-9
 Erscheinungsjahr: 2013
 Hardcover: 711 Seiten, mit farbigen Abbildungen
 Preis: 50.00 EUR

Recycling und Rohstoffe, Band 7
 ISBN: 978-3-944310-09-1
 Erscheinungsjahr: 2014
 Hardcover: 532 Seiten, mit farbigen Abbildungen
 Preis: 50.00 EUR

175.00 EUR
 statt 320.00 EUR

Paketpreis

CD Recycling und Rohstoffe, Band 1 und 2
 Recycling und Rohstoffe, Band 2 bis 7



Bestellungen unter www.vivis.de
 oder

Dorfstraße 51
 D-16816 Nietwerder-Neuruppin
 Tel. +49.3391-45.45-0 • Fax +49.3391-45.45-10
 E-Mail: tkverlag@vivis.de

vivis
 TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky