

und des Mineralölsteuergesetzes (vom 29. März 2000). BGBl 13, S. 305-309

Leible, L.; Arlt, A.; Fürniß, B.; Kälber, S.; Kappler, G.; Lange, S.; Nieke, E.; Rösch, Chr.; Wintzer, D., 2002a: Bereitstellung und energetische Nutzung organischer Rest- und Abfallstoffe sowie Nebenprodukte als Einkommensalternative für die Land- und Forstwirtschaft – Möglichkeiten, Chancen und Ziele (FKZ: 97/NR219). Vorläufiger Abschlussbericht (unveröffentlicht). Karlsruhe: Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse

Leible, L., Arlt, A.; Seifert, H.; Kälber, S.; Nieke, E.; Wintzer, D.; Fürniß, B., 2002b: Energie aus biogenen Abfällen – Stand und Perspektiven in Deutschland. In: DGMK (Hrsg.): Beiträge zur DGMK-Fachbereichstagung „Energetische Nutzung von Biomassen“, 22. bis 24. April 2002 in Velen/Westfalen. DGMK-Tagungsbericht 2002-2, S. 63-70

Kontakt

Dr. Ludwig Leible
 Forschungszentrum Karlsruhe GmbH
 Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS)
 Postfach 3640, 76021 Karlsruhe
 Tel.: +49 (0) 72 47 / 82 - 48 69
 Fax: +49 (0) 72 47 / 82 - 48 06
 E-Mail: leible@itas.fzk.de
 Internet: <http://www.itas.fzk.de>

»

Analyse der Umweltauswirkungen bei der Herstellung, Nutzung und Entsorgung von CFK- bzw. Aluminiumrumpfkomponten im Flugzeugbau

von Klaus-Rainer Bräutigam und Matthias Achternbosch, ITAS

Im Zusammenhang mit der Entwicklung neuer Technologien gewinnen systemanalytische Arbeiten an Bedeutung, die schon frühzeitig die mit den neuen Technologien verbundenen möglichen Umweltauswirkungen wie z. B. Ressourcenverbrauch, Abfälle oder Emissionen aufzeigen und bewerten. Das Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) des Forschungszentrums Karlsruhe untersuchte im Zeitraum von Juli 1999 bis Dezember 2002 die mit der Herstellung, dem Einsatz und der Entsorgung von Flugzeugrumpfkomponten aus Aluminium und kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen (CFK) verbundenen Stoff- und Energieströme auf der Grundlage der single aisle Rumpfstruktur eines mittelgroßen, modernen Verkehrsflugzeugs. In dem Beitrag werden die wesentlichen Ergebnisse der Analysen dargestellt und Empfehlungen für den Einsatz von CFK formuliert.

1 Aufgabenstellung

Die Herstellung eines Flugzeugrumpfes erfordert die Verwendung unterschiedlichster Materialien und besteht aus vielen einzelnen Prozessschritten. Unter ökologischen Gesichtspunkten ist von Interesse, welche Materialien und Hilfsstoffe in welchen Mengen eingesetzt werden und welche Stoff- und Energieströme mit der Herstellung dieser Materialien bzw. Hilfsstoffe verbunden sind. Ein wesentliches Ziel der Arbeiten des ITAS lag darin, die einzelnen Prozessschritte für die Herstellung dieser Materialien bzw. Hilfsstoffe und der Fertigung einer Rumpfstruktur hinsichtlich ihrer ein- und ausgehenden Stoffflüsse zu analysieren und die erhobenen Daten in Stoffstrombilanzen zu erfassen. Ein weiterer Arbeitsschwerpunkt bestand darin, die Stoffflüsse bei der Herstellung von Rumpfstrukturen aus CFK denen der Herstellung von konventionellen

Rumpfstrukturen aus Aluminium vergleichend gegenüberzustellen. Die stoffstromanalytischen Arbeiten dienten unter anderem dazu, besonders energie- oder materialintensive Prozessschritte zu identifizieren und die damit verbundenen Auswirkungen auf die Umwelt darzustellen (Emissionen, Abfälle etc.), um damit die spezifischen Vor- und Nachteile der jeweiligen Materiallinie und Optimierungsmöglichkeiten sowie alternative Verfahrensschritte für einzelne ökologisch besonders relevante Prozessschritte aufzuzeigen.

Zusätzlich zur Analyse der mit der Herstellung von Rumpfstrukturen verbundenen Stoff- und Energieströme wurde die Nutzungsphase des Flugzeugs mit in die Betrachtungen einbezogen. Hier wurde ein qualitativer Vergleich der Wartungsarbeiten für Flugzeugteile aus Aluminium bzw. aus CFK durchgeführt, und es wurde der Treibstoffverbrauch während eines Flugzeugslebens abgeschätzt. Abschließend wurden die Möglichkeiten des Recyclings von bei der Herstellung von Bauteilen aus Aluminium bzw. CFK anfallenden Abfällen untersucht.

Das Projekt wurde im Rahmen des Strategiefondsprojektes „Schwarzer Rumpf“, einem von der Hermann-von-Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF) geförderten und unter der Leitung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) stehenden Vorhabens im Zeitraum von Juli 1999 bis Dezember 2002 durchgeführt. Grundlage der Analysen war die *single aisle* (ein Mittelgang) Rumpfstruktur eines mittelgroßen, modernen Verkehrsflugzeugs (im Weiteren als Referenzflugzeug bezeichnet). Der Abschlußbericht zum Projekt ist in Vorbereitung. Erste Ergebnisse wurden bereits in Heft 1, März 2002, der TA-TuP, Seiten 41-50 vorgestellt.

2 Vorgehensweise

Zu Beginn des Projektes lagen keine Informationen und Daten zu Art und Menge der *Materialien* vor, die für die Herstellung eines Druckrumpfes des Referenzflugzeuges benötigt werden. Durch intensiven Kontakt zur Flugzeugindustrie konnte jedoch ein Großteil der erforderlichen Daten zusammengetragen werden. Ergänzt durch umfangreiche Literaturrecherchen, Modellannahmen und Plausibilitätsbetrachtungen wurde ein Mengengerüst für die wichtigsten

Komponenten einen Druckrumpfs aus Aluminium erstellt. Auf der Basis von Rechnungen, die vom DLR in Braunschweig durchgeführt wurden, konnte auch ein entsprechendes Mengengerüst für eine Rumpfstruktur aus CFK erstellt werden (s. Tab. 1).

Tab. 1: Vergleich der zu bilanzierenden Aluminium- und CFK-Rumpfstrukturen

Komponenten		Al- Struktur	CFK- Struktur
Haut	kg	2.196	
Stringer	kg	598	
Spanten/Druckspanten	kg	1.399	
Schalen	kg		3.060
<i>Verbindungstechnik</i>			
Clips	kg	238	
Laschen (Lampassen)	kg		118
Nieten	kg	116	
Bolzen/Schrauben	kg		145
<i>Summe</i>	<i>kg</i>	<i>4.547</i>	<i>3.323</i>

Eine systematische und vollständige Zusammenstellung aller notwendigen und relevanten Fertigungsschritte konnte von den Flugzeugherstellern nicht zur Verfügung gestellt werden. Die Identifikation der einzelnen Prozessschritte, die zur Fertigung eines Rumpfes aus Aluminium erforderlich sind, erwies sich als sehr schwierig und zeitaufwändig. Die in den Flugzeugwerken (weiter-)verarbeiteten Materialien sind teilweise das Ergebnis einer umfangreichen Kette von Fertigungsschritten, die in den Werken der Zulieferer durchgeführt werden (z. B. Aluminiumproduktion, Herstellung der Carbonfasern). Zusätzlich erschwerend kam hinzu, dass die Teil- bzw. Endfertigung des Referenzflugzeugs in verschiedenen Werken erfolgt. Durch intensiven Kontakt zu verschiedenen europäischen Flugzeugwerken, zu zahlreichen Herstellern der Ausgangsmaterialien bzw. der Vorprodukte sowie durch Literaturrecherchen konnten jedoch alle relevanten

Prozessschritte identifiziert und zu einer Prozesskette verbunden werden.

Neue, derzeit in der Erprobungsphase befindliche CFK-Fertigungsverfahren sollen zukünftig die serienmäßige und kostengünstige Produktion komplexer, großflächiger CFK-Bauteile z. B. im Bereich des Flugzeugdruckrumpfes ermöglichen. Da bisher kein Druckrumpf für große Verkehrsflugzeuge aus CFK gefertigt wurde, beruht die Identifikation einzelner Prozessschritte daher auf den Erfahrungen der Pilotanwendungen.

Im Anschluss an die Identifikation der einzelnen Prozessschritte und ihre Zusammenfügung zu einer Prozesskette wurden für Aluminium und CFK die mit den einzelnen Prozessschritten verbundenen Inputs an Energie und Materialien sowie die Outputs an Produkten, Abfällen, Emissionen, Abwasser und Abwärme bestimmt. Auch hierzu lagen keinerlei brauchbare Informationen bei den jeweiligen Herstellern vor, da bisher keine Bilanzen für einzelne Prozessschritte erstellt wurden. Grund dafür ist u. a., dass häufig keine Zuordnung von Stoff- und Energieeinsätzen zu einzelnen Prozessschritten möglich ist.

Daher musste für diesen Arbeitsschritt auf andere Informationsquellen zurückgegriffen werden. Das zur Bilanzierung von Produktionsprozessen vom Institut für Kunststoffprüfung und Kunststoffkunde (IKP) in Stuttgart entwickelte Programm GaBi (Ganzheitliche Bilanzierungssoftware) (GaBi 3.2) enthält umfangreiche Input- und Output-Daten für eine Vielzahl industrieller Prozesse, die in ähnlicher Form auch bei der Herstellung von Flugzeugrumpfen Anwendung finden und daher als Datengrundlage herangezogen werden konnten. Um Know-how und fehlende Daten zu ergänzen, wurde für die Herstellung der Aluminiumlegierungen und -Halbzeuge für den Referenzrumpf auf umfangreiche Studien, unter anderem der EAA (European Aluminium Association) zurückgegriffen (EAA 2000).

In Zusammenarbeit mit dem IKP, mit Flugzeugherstellern und Vorlieferanten sowie durch eigene Recherchen und Plausibilitätsbetrachtungen wurde die Anwendbarkeit dieser Daten auf die Fertigung eines Rumpfes überprüft, gegebenenfalls wurden die Daten ergänzt oder modifiziert. In vielen Fällen wurden –

teilweise in Zusammenarbeit mit dem IKP – aktualisierte oder auch neue Datensätze erstellt.

Von entscheidender Bedeutung für die vorliegende Studie ist ein Datensatz zur Herstellung von Carbonfasern. Die wenigen in der Literatur aufgeführten sowie die in Fachkreisen diskutierten Werte differieren so stark, dass ein aus ausreichend gesicherten Daten bestehender und zudem vollständiger Datensatz, der den chemischen Umwandlungen in den Prozessen Rechnung trägt, mit diesen Angaben nicht aufgestellt werden konnte. In Zusammenarbeit mit der Fa. Tenax Fibers, Wuppertal, einem Produzenten von Carbonfasern und Zulieferer der Flugzeugindustrie, konnte ein verbesserter Datensatz für die Herstellung von Carbonfasern erstellt werden.

3 Analysen und Empfehlungen

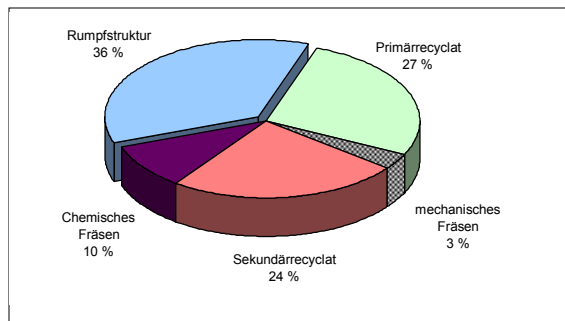
Die betrachtete Aluminiumrumpfstruktur weist aufgrund von Angaben des Herstellers und nach unseren Abschätzungen eine Masse von 4.547 kg auf (s. Tab. 1). Für die Herstellung dieser Rumpfstruktur werden 12.600 kg Aluminiumknetlegierungen verarbeitet, wovon schon bei der Blechherstellung im Walzwerk 27 % entsprechend 3.438 kg als Abfall anfallen (s. Abb. 1). Dieser wird als Primärrecyclat sortenrein wieder aufgeschmolzen und zu neuen Blechen verarbeitet. In die Bilanz geht daher die Herstellung dieser Aluminiummenge *nicht* ein, es wird lediglich die für das Aufschmelzen dieses Primärrecyclats benötigte Energie berücksichtigt. Beim Flugzeughersteller fallen bei der Verarbeitung der Aluminiumhalbzeuge 4.670 kg in Form unterschiedlicher Metallabfälle (bedingt durch Fräsen, Zuschneiden, Kanten glätten, etc.) und aluminiumhaltige Badlösungen an. Die Legierungsgemische können z. T. nicht sortenrein gesammelt und zum Ausgangsstoff recycelt werden. *Daher wird in der Bilanz die Herstellung dieser Aluminiummengen berücksichtigt.*

Bei der Herstellung von CFK-Bauteilen fallen Verschnitt- und Fräsabfälle an. Geht man von einem Verschnittanteil von 10 % aus, so fallen ca. 200 kg Gelegeabfälle an. Hinzu kommen ca. 85 kg Fräsabfälle. Auch diese Abfälle werden in der Bilanz mit berücksichtigt.

Zum Vergleich der Stoffströme der Aluminium- und CFK-Linie wurde die Input-Seite der

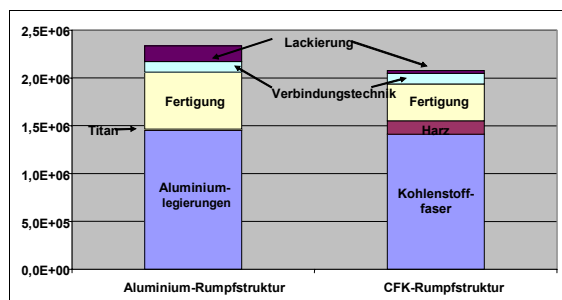
einzelnen Prozessmodule weitestgehend bis hin zu den Rohstoffen und die Outputseite bis zu den Produkten, Abfällen, Abwasserinhaltsstoffen und Luftemissionen aufgeschlüsselt. Für die Stoffstromanalyse der jeweiligen Produktlinie wurden die von der Rohstoffgewinnung bis zum Endprodukt führenden Verfahrensschritte untersucht und zu einer modular aufgebauten Prozesskette verknüpft, in der sowohl einzelne Glieder detailliert betrachtet als auch zu größeren Abschnitten aggregiert werden konnten.

Abb. 1: Abschätzung des Aluminiumverbrauchs für die Referenzrumpfstruktur



Nach den vorliegenden Analysen weist CFK gegenüber Aluminium in Bezug auf ökologische Aspekte in erster Näherung weder Vor- noch Nachteile auf. Die Modellrechnungen zeigen auf, dass die Herstellung der CFK-Rumpfstruktur in etwa die gleiche Menge an Primärenergie verbraucht wie die Herstellung der entsprechenden Aluminiumstruktur (s. Abb. 2).

Abb. 2: Primärenergieverbrauch (in MJ) verbunden mit der Herstellung einer Aluminium- bzw. CFK-Rumpfstruktur



Die Analyse der gesamten Verfahrensabläufe diente auch dazu, besonders *energieintensive bzw. mit besonders hohen Ressourcenverbräuen*

chen verbundene Prozessschritte zu identifizieren und Empfehlungen in Bezug auf eine verbesserte energetische und stoffliche Ressourcennutzung abzuleiten. Als ein sehr energieintensiver Prozessschritt bei der Herstellung von CFK-Bauteilen erwies sich beispielsweise die in einem *Autoklaven* durchgeführte Bauteil-aushärtung mittels (konventioneller) Aufheizung. Alternative Verfahren, wie beispielsweise die Aushärtung durch die Verwendung der Mikrowelle – einem Verfahren, das derzeit am Forschungszentrum Karlsruhe entwickelt wird (Fehler, Thumm 2001) – dürften nach ersten Abschätzungen zu einer deutlichen Reduktion des Energiebedarfs führen. Des Weiteren wird wegen der im Rahmen des Projektes favorisierten Verbindungstechnik für CFK-Bauteile mittels *Titan-CFK-Laschen und Titanbolzen* eine relativ große Titanmenge benötigt. Die Herstellung von Titan ist jedoch mit einem hohen Ressourcenverbrauch verbunden. Ein höherer Integrationsgrad der Bauteile könnte hier zu deutlichen Einsparungen führen.

Einsparungen sind auch bei der Herstellung und Montage der Aluminiumbauteile möglich. Als Beispiel sei die *energie- und materialintensive Herstellung der Spanten* genannt. Zurzeit fallen größere Mengen von Fräsabfällen an (Zerspanungsgrad bis zu 95 %) (s. auch Abb. 1). Zur besseren Ressourcenschonung sollte die sortenreine Sammlung dieser Abfälle optimiert werden, um sie als *Primärrecyclat an den (primären) Aluminiumproduzenten* abgeben und sie so für die Herstellung z. B. neuer Spanten wieder nutzen zu können. In diesem Zusammenhang sei die *Aluminium-Gusstechnologie* genannt, die bereits ihre Zulassung für den Flugzeugbau besitzt. Die Bauteile – z. B. Spanten – dürften mit dieser Technologie praktisch „abfallfrei“ hergestellt werden können. Die Technologie ermöglicht darüber hinaus die Herstellung integraler Bauteile und verfügt somit auch über ein großes Leichtbaupotenzial, denn die integrale Bauweise führt nicht nur zu einem geringeren Fertigungsaufwand, sondern auch zu einem niedrigeren Materialverbrauch bei der Verbindungstechnik.

Die herkömmliche Verbindungstechnik beim Aufbau der Aluminium-Rumpfstruktur beruht neben dem Kleben hauptsächlich auf der Niettechnik, für die eine große Zahl von Nieten (mehrere hunderttausend Nieten in einem kom

pletten Rumpf) benötigt wird, die natürlich zum Gesamtgewicht des Rumpfes beiträgt. Darüber hinaus ist das Nieten sehr arbeits- und zeitaufwändig. Materialeinsparungen - und damit Gewichtseinsparungen – können hier mit dem *Laserschweißen* erzielt werden. Diese innovative Verbindungstechnik, die heute schon teilweise im Flugzeugbau eingesetzt wird, erfordert zwar den Einsatz neuer Aluminiumknetlegierungen für die Bauteile, bietet aber den Vorteil geringerer Produktionskosten und eines hohen Produktionsdurchsatzes. Die Prozesszeiten sind deutlich niedriger als beim Nieten und es werden weniger Fertigungsschritte benötigt.

Die genannten neuen Technologien machen eine *Gewichtseinsparung von 10 - 20 % für den Rumpf aus Aluminium möglich* (Kolax 2002).

Dem gegenüber ist das Gewichtseinsparpotenzial durch die Verwendung von CFK als Werkstoff deutlich größer. Es wird im Rahmen der Entwicklung einer *CFK-Rumpfstruktur eine Gewichtsreduzierung von bis zu 30 % angestrebt*. In der vorliegenden Studie wurden die Analysen auf der Basis einer Modellrechnung zur Gewichtsreduzierung von 27 % durchgeführt (s. Tab. 1).

Eine *Gewichtsreduzierung der Rumpfstuktur von 27 % bei Verwendung von CFK* bedeutet allerdings *keine entsprechende Reduktion des Startgewichts bzw. Treibstoffverbrauchs* des betrachteten Flugzeuges, in dem hier betrachteten Fall reduzieren sich Startgewicht und Treibstoffverbrauch nur um etwa 4 %. Erfahrungen aus der Zeit nach dem Golfkrieg 1991 lassen den Schluss zu, dass sich der Flugverkehr auch nach den Ereignissen des 11. September 2001 mit jährlichen Wachstumsraten zwischen 2 und 5 % bis zum Jahr 2050 weiterentwickeln dürfte. Bis zum Jahr 2000 hatte sich das Passagier- und Frachtaufkommen etwa alle 10 Jahre verdoppelt. Dem mit dieser Entwicklung einhergehenden Anstieg der Emissionen kann mit einer knapp 4 %igen Treibstoff- bzw. CO₂-Einsparung, gerechnet über die Lebensdauer eines Flugzeuges, kaum gegengesteuert werden.

Vor diesem Hindergrund stellt sich die Frage, ob es sinnvoll ist, das Potenzial an Treibstoffeinsparungen als ein wesentliches Argument für den Einsatz der Faserverbundwerkstoffe im Flugzeugbau herauszustellen.

Die großen *Vorteile des Einsatzes dieser Verbundwerkstoffe* liegen nach unserer Meinung in seinen materialspezifischen Eigenschaften, die für den Flugzeugbau eine Innovation bedeuten: CFK-Verbundwerkstoffe vereinigen hohe Festigkeit, Steifigkeit, Energieaufnahmevermögen, Dämpfung und Schwingungsfestigkeit mit niedrigem Gewicht und freier Formgebung (free shape design). Sie ermöglichen völlig neue Bauweisekonzepte und können je nach der erforderlichen Beanspruchung ausgelegt werden. Zudem sind die Werkstoffe alterungs- und korrosionsbeständig und übertreffen damit die Eigenschaften der metallischen Werkstoffe im erheblichen Maße. Mit der Weiterentwicklung neuer Herstellungsverfahren für die Serienproduktion von CFK-Strukturen wird zudem eine gegenüber der Metallbauweise kostengünstigere Fertigung möglich werden.

Untersucht wurden auch die Vor- und Nachteile des Einsatzes von CFK in Bezug auf Wartung und Reparatur, eine abschließende Bewertung ist allerdings hier nicht möglich, denn der Aufwand für die Reparatur hängt in entscheidendem Maße vom Einsatzort und der Schadensgröße des Bauteils ab: Kleine Schäden bei herkömmlichen Aluminiumstrukturen und monolithischen CFK-Strukturen lassen sich häufig schnell und mit geringem Kostenaufwand (Material und Arbeitszeit) beheben; Schäden an Sandwichbauteilen sind i. a. aufwändiger zu beheben. Nach Aussagen der Lufthansa (Lufthansa 2002) sind Reparaturen größerer Schäden bei CFK-Bauteilen – auch in Sandwichbauweise – teilweise kostengünstiger, weil sie in der Werkstatt selbst behoben werden können, größere Metallarbeiten jedoch häufig an externe Betriebe vergeben werden müssen.

Ausschlaggebend für den erfolgreichen Einsatz eines Bauteils im Hinblick auf seine Schadensanfälligkeit ist sein Design, insbesondere die Auswahl des geeigneten Werkstoffs. Dies gilt für Bauteile aus Aluminium, aus Faserverbundwerkstoffen oder auch aus Kombinationen unterschiedlicher Werkstoffe. Beim Design des Bauteils (Werkstoffwahl und Struktur) muss auf den Einsatzort (im Hinblick auf die Schadensanfälligkeit) und die Reparaturfreundlichkeit geachtet werden.

Wie bereits erwähnt, wird die größte Massenreduktion erreicht, wenn bei der Herstellung des Flugzeugrumpfes aus Carbonfaserverbund

material ein möglichst hoher Integrationsgrad erreicht wird. Dies hat für die Wartung bzw. für die Reparatur Konsequenzen, denn die Austauschbarkeit von Bauteilen im herkömmlichen Sinn existiert damit in geringerem Umfang und die Zugänglichkeit wird erschwert. Je höher der Integrationsgrad, desto komplexer und aufwändiger dürfte sich die Reparatur gestalten.

Im Rahmen des Projektes wurde auch der Verbleib von Produktionsabfällen bei der Fertigung von CFK- und Aluminiumbauteilen näher untersucht und miteinander verglichen. Die Entsorgung von Altbauteilen, die z. B. bei der Reparatur ausgewechselt werden, wurde nicht behandelt.

CFK-Abfälle wurden in der Vergangenheit einer Beseitigung zugeführt. Es bestehen nun Bestrebungen, diese Abfälle einer Verwertung zuzuführen. Die derzeit favorisierten Verwertungsmaßnahmen – Partikelrecycling und Pyrolyse – sind allerdings noch nicht ausgereift. Für CFK und deren Vorprodukte wie Harze und Fasern ist gegenwärtig eine Rückführung des Recyclates in den Herstellungsprozess von Produkten ursprünglicher Wertschöpfung selbst bei sortenreiner Erfassung der Abfälle nicht möglich. Zwar gilt auch für Aluminium, dass ein Recycling für die originären Produkte nicht immer stattfindet, ein nicht unerheblicher Anteil des Aluminiumabfalls aus der Rumpferstellung wird jedoch für Sekundäranwendungen wiederverwertet. Zudem ist der Anfall des Sekundärrecyclates zum großen Teil auf die derzeitige Praxis der Sammlung und Sortierung der Abfälle zurückzuführen, da eine sortenreine Erfassung der Aluminiumlegierungen noch nicht bei allen Produktionsschritten optimiert ist. Nachteilig sind diesbezüglich Herstellungsprozesse, welche durch die Veränderung der Materialeigenschaften ein stoffliches Recycling ausschließen. Dazu gehört bei der Aluminiumrumpferstellung das chemische Fräsen, bei dem immerhin ca. 1200 kg Aluminium in chemisch gebundener Form in den Badrückständen vorliegen.

Bezüglich der Sekundäranwendungen ist die derzeit unbefriedigende Situation für CFK-Recyclate mit den bereits erwähnten Restriktionen verbunden. Insbesondere das Image- und Mengenproblem erscheint derzeit der Anwendung von CFK-Recyclaten entgegen zu stehen. Eine Änderung dieser Situation könnte in naher Zukunft eingeleitet werden, denn auch

in der Automobilindustrie ist möglicherweise zukünftig mit einem deutlichen Anstieg des Einsatzes von „advanced composites“ zu rechnen.

Literatur

GaBi 3.2: Software und Datenbank zur Ganzheitlichen Bilanzierung. Institut für Kunststoffprüfung (IKP), Universität Stuttgart und PE Europe GmbH

EEA – European Aluminium Association, 2000: Environmental Profile Report for the European Aluminium Industry. Brüssel: European Aluminium Association, April 2000. <http://www.eaa.net>

Kolax, M.: CFRP for Future Airbus Fuselage Structures. Vortrag auf dem Workshop „Schwarzer Rumpf“, Braunschweig, 24. Oktober 2002

Lufthansa Technik Hamburg: Persönliche Mitteilung. April 2002

Feher, L.; Thumm, M., 2001: HEPHAISTOS – Development of a Novel Automated Microwave Processing System for Carbon Reinforced Fibre Plastics (CFRP). Vortrag auf dem 3rd World Congress on Microwave & RF Applications, 22–26 September 2001, Sydney, Australia

Kontakt

Dr. Matthias Achternbosch
 Forschungszentrum Karlsruhe GmbH
 Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS)
 Postfach 3640, 76021 Karlsruhe
 Tel.: +49 (0) 72 47 / 82 - 45 53
 Fax: +49 (0) 72 47 / 82 - 48 06
 E-Mail: achternbosch@itas.fzk.de
 Internet: <http://www.itas.fzk.de>

«