

## Flugzeugentsorgung als neues Geschäftsfeld – Herausforderung und Chance der Luftfahrtbranche –

Norbert Steinkemper

|    |  |     |
|----|--|-----|
| 1. | Status Quo<br>– Was passiert mit ausgedienten Flugzeugen? – .....                            | 164 |
| 2. | Gründe für ein Ausmustern alter Flugzeuge .....  | 166 |
| 3. | Aktuelle Marktsituation .....  | 169 |
| 4. | Voraussetzungen für<br>ein ganzheitliches Flugzeugrecycling in Deutschland .....             | 171 |
| 5. | Zusammenarbeit zwischen Luftfahrt- und Recyclingwirtschaft<br>– ein ungleiches Paar – .....  | 171 |
| 6. | Flugzeugrecycling als System<br>– Networking ist gefragt – .....                             | 172 |
| 7. | Flugzeugrecycling als Geschäftsmodell?<br>– Der Versuch eines Stakeholder-Überblicks – ..... | 172 |
| 8. | Flugzeugrecycling als Chance für den Standort Deutschland? .....                             | 174 |

Das Ziel des *Grünen Fliegens* hat sich in den vergangenen Jahren mit der zunehmenden Bedeutung nicht nur von Umweltaspekten, sondern insbesondere auch aufgrund des ökonomischen Drucks steigender Treibstoff- und Rohstoffpreise, in allen Bereichen der Luftfahrtindustrie fest etabliert. Mit großem Aufwand arbeiten die Flugzeughersteller und Infrastrukturbetreiber an neuen Möglichkeiten, die Umweltauswirkungen des Luftverkehrs zu minimieren. Im Vergleich zu anderen Segmenten nimmt das Recycling der Fluggeräte jedoch erst mit Verpätung und nur langsam seinen Platz in der Wertschöpfungskette ein. Dieser Beitrag soll einen Überblick über mögliche Chancen geben, die eine Entwicklung entsprechender Verwertungsketten zum Recycling von Flugzeugen bieten kann. Hierzu wird zunächst auf die heutigen und zukünftig zu erwartenden Verwertungsketten und die damit verbundenen Auswirkungen auf Geschäftsmodelle für Luftfahrt und Recyclingwirtschaft eingegangen. Um nachhaltig Flugzeuge recyceln zu können, ist der Aufbau eines neuartigen Geschäftsfelds notwendig, das alle Einzelaspekte nicht nur technologisch, sondern auch wirtschaftlich miteinander verknüpft. Aufgrund der komplexen Struktur dieses Branchensegments können die einzelnen Themenbereiche hier jedoch nur schemenhaft dargestellt werden, um den Überblick über die gesamte Wertschöpfungskette *Flugzeugrecycling* nicht aus den Augen zu verlieren.

## 1. Status Quo

### – Was passiert mit ausgedienten Flugzeugen? –

Aus der Perspektive der Luftfahrtbranche war das Recycling ihrer Produkte in der Vergangenheit eher ein Nischenthema und fand allenfalls als Nebentätigkeit der bekannten nordamerikanischen Flugzeugfriedhöfe in heißem Wüstensand statt. Das hat mehrere Gründe, die sich gegenseitig verstärken:

Flugzeuge sind mit einer Nutzungsdauer jenseits der dreißig Jahre über einen sehr langen Zeitraum in Gebrauch. Gleichzeitig werden sie im Vergleich zu anderen Fahrzeugen in vergleichsweise geringer Stückzahl hergestellt, was ein auf Flugzeuge spezialisiertes Recycling nicht begünstigt.

Flugzeuge wechseln in ihrem Lebenszyklus häufig mehrfach den Besitzer, sicher aber mehrere Male den Nutzer. Auch überlappende Besitzverhältnisse – beispielsweise bei geleasten Triebwerken – sind nicht unüblich. Somit ist eine Vielzahl an unterschiedlichen Akteuren bei etwaigen Recyclingkonzepten zu berücksichtigen, die Einfluss auf die Verfügbarkeit der Flugzeuge haben.

Aufgrund der hohen Sicherheitsstandards in der Luftfahrt und den strengen Auflagen hinsichtlich Betrieb, Wartung und Instandhaltung kann die Lebenserwartung der Flugzeuge bei Bedarf durch technischen Aufwand beträchtlich verlängert werden. Somit stellte sich nach dem insbesondere Ende der sechziger/Anfang der siebziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts einsetzenden exponentiellen Wachstum der Luftfahrt die Frage der Entsorgung von Flugzeugen kaum. Sie wurden aufgrund der hohen Nachfrage und dem aus heutiger Sicht moderaten Kerosinpreis im Luftverkehr benötigt. Die Flugzeuge, die in dieser Zeit starken Wachstums gebaut wurden, erreichen in den kommenden Jahren erst ihr Lebensende.

Der enorme Kapitaleinsatz, der für die Anschaffung und den Betrieb insbesondere der großen Passagiermaschinen notwendig ist, sorgte in der Vergangenheit dafür, dass Passagiermaschinen häufig ein *zweites Leben* im LowCost-Bereich oder in der Verwendung als Frachtmaschine erlebten, nachdem sie für den Dienst bei den großen internationalen Fluggesellschaften ausgemustert wurden. Der Kapitalanteil, den eine mögliche Verwertung am Lebensende einnimmt, ist im Vergleich zum Gesamtumsatz des Investitionsguts Flugzeug sehr gering. Somit ist für Flugzeugeigentümer der Verwertungsweg am Lebensende eines Flugzeugs wirtschaftlich von eher geringer Bedeutung. Gleichzeitig sind hier Kompetenzen und Technologien gefragt, die sich deutlich von den in der Luftfahrt bekannten unterscheiden. Die Anreizeffekte, sich aus wirtschaftlichen Erwägungen mit dem Recycling alter Flugzeuge zu beschäftigen, waren also in der Vergangenheit eher gering.

Ein weiterer Faktor, der dazu beigetragen hat dass sich eine Flugzeugrecyclingindustrie in Ansätzen lediglich an den bekannten Wüstenparkplätzen entwickelt hat, ist die gängige Praxis, Flugzeuge im Falle eines Rückgangs der Nachfrage nach Lufttransportdienstleistungen zunächst in noch betriebsfähigem und luftfahrtrechtlich abgesichertem Zustand zu parken, um sie bei einem Anziehen der Konjunktur schnell wieder aktivieren zu können. Diese sind zwar bereits nicht mehr im Luftverkehr aktiv,

stehen einer Verwertung jedoch noch nicht zur Verfügung, da sie für eine mögliche Reaktivierung weiter gewartet und entsprechend den Zulassungsvorschriften instand gehalten werden. Als Standort für einen solchen *Parkplatz* bieten sich insbesondere die sehr trockenen Wüstenstandorte an, da hier die Gefahr von Korrosion aufgrund der niedrigen Luftfeuchtigkeit besonders gering ist. Die trockenen Gebiete im Süden der USA waren also in der Vergangenheit der aus Sicht der Luftfahrt wirtschaftlichste Weg, mit den Fluggeräten zu verfahren und sich gleichzeitig die Möglichkeit einer schnellen Reaktivierung von Flugzeugen offen zu halten.

All diese Faktoren haben dazu beigetragen, dass das Recycling von Flugzeugen in der Vergangenheit kaum thematisiert wurde. Aus Sicht der Luftfahrt fehlten hier die wirtschaftlichen Anreize und aus Perspektive der Recyclingwirtschaft waren die Flugzeuge trotz ihrer z.T. wertvollen Materialien kaum verfügbar.

In letzter Zeit gewinnt jedoch auch in der Luftfahrt der Grundsatz, den gesamten Lebenszyklus des Produkts stärker in den Fokus zu nehmen, immer mehr an Bedeutung. Die Gründe dafür liegen auf der Hand:

Die bereits angesprochene starke Steigerung der Produktion und Auslieferung von Flugzeugen seit den sechziger und siebziger Jahren führt dazu, dass entsprechend mehr Großraumflugzeuge (hierunter versteht man Passagier-Flugzeuge mit mehr als 100 Sitzen) das Ende ihrer Nutzungszeit erreichen. Derzeit ist davon auszugehen, dass in den kommenden Jahren, je nach zugrunde liegender Berechnungsmethode etwa 450 bis 600 Großraumflugzeuge pro Jahr außer Dienst gestellt werden. Ein nicht unerheblicher Teil der Neuauslieferungen, die seitens der Flugzeughersteller für die kommenden Jahre prognostiziert wird, wird alte Maschinen ersetzen. Damit steigt die zu recycelnde Menge an Material deutlich an, sodass eine Befassung mit dem Thema Flugzeugrecycling auf den ersten Blick auch aus wirtschaftlicher Perspektive interessant erscheint. Gleichzeitig ist bei steigender Menge an Flugzeugen die Deponierung der Altflugzeuge auch aus Gründen des Umweltschutzes keine erstrebenswerte Alternative. Aufgrund der sehr hohen Ansprüche hinsichtlich Qualität, Zuverlässigkeit und Sicherheit sind in diesen Flugzeugen häufig sehr hochwertige und zum Teil seltene Materialien verbaut, was einen zusätzlichen Anreiz bietet, das Recycling in diesem Bereich weiter zu entwickeln, um Flugzeuge gewissermaßen als *fliegende Rohstoffquelle* nutzen zu können.

Ein weiterer treibender Faktor ist in den veränderten Marktbedingungen in der Luftfahrt zu sehen. So nimmt in den letzten Jahren der Kerosinverbrauch aufgrund steigender Treibstoffkosten einen immer größeren Anteil an den Betriebskosten der Airlines ein, sodass ein klarer Trend hin zu verbrauchsärmeren – und damit auch jüngeren – Flugzeugmodellen am kommerziellen Markt zu beobachten ist. Als Beispiel sei hier der Markt der sog. *Low-Cost-Carrier* (LCC) zu nennen, die insbesondere auf kurzen Strecken operieren und dabei aus Kostengründen in der Regel auf sehr moderne Flotten setzen. Hier überwiegt die Bedeutung der Betriebskosten (v.a. durch Kerosinverbrauch), sodass die Investitionskosten in neue Flugzeuge eher akzeptiert werden. Daraus resultiert eine Verjüngung der Gesamtflotte, die mit zunehmendem Aufschwung insbesondere in den Schwellenländern und einer damit verbundenen stärkeren Nachfrage nach neueren Modellen einher geht.

Zum einen werden Flugzeuge also schneller stillgelegt als in früheren Jahren, zum anderen sinkt die Nachfrage nach Flugzeugen für eine Nutzung im *Zweiten Leben*, die v.a. in den heutigen Schwellenländern früher eher auf ältere Modelle abzielte. Ein stagnierender Markt für Luftfracht verstärkt diesen Prozess noch.

Große traditionsreiche Fluggesellschaften wie z.B. Lufthansa, British Airways u.a., die in der Vergangenheit Flugzeuge nach einer gewissen Zeit weiterverkauft haben und denen sich die Frage der Entsorgung somit nicht stellte, sind heute immer häufiger damit konfrontiert, Flugzeuge, die durch neue Modelle ersetzt werden, einer Entsorgung zuzuführen.

Letztlich spielen auch das gestiegene Umweltbewusstsein bei Unternehmen und Verbrauchern und damit verbunden auch die veränderten rechtlichen Anforderungen an Umweltschutz eine Rolle, die Flugzeugrecycling zum Thema werden lassen. Eine Regulierung der Entsorgung nach dem Vorbild der Altfahrzeugverwertung ist zwar derzeit noch nicht vorhanden und wäre vermutlich auch schwer global umzusetzen, gleichwohl sind Trends in diese Richtung zumindest auf europäischer Ebene zu erkennen.

Es ist also feststellbar, dass das Recycling von Flugzeugen zwar an Bedeutung gewinnt, ein entsprechender Markt mit funktionierenden Wertschöpfungsketten ist heute aber noch nicht entwickelt. Wenn nun Flugzeugrecycling als Geschäftsfeld auch in Deutschland strategisch erschlossen werden soll – und ein effizientes Recycling von Flugzeugen kann nur gelingen, wenn die beteiligten Partner hieraus positive Effekte für ihre Geschäftsmodelle ableiten können – dann stellt sich die Frage, welche Voraussetzungen greifen müssen, um die zugehörige Wertschöpfungsketten zu entwickeln.

Hierzu sollte zunächst ein Verständnis dafür geschaffen werden, welche Schnittstellen und damit branchenseitigen Ansatzpunkte zwischen Luftfahrt und Recyclingwirtschaft bestehen. Betrachtet man den Weg, den auszumusternde Flugzeuge am Ende ihrer Nutzungszeit nehmen, so wird deutlich, dass eine Vielzahl spezialisierter Partner notwendig ist, um eine ineinandergreifende effiziente Verwertungskette für alte Flugzeuge tatsächlich aufzubauen.

## 2. Gründe für ein Ausmustern alter Flugzeuge

Es bestehen unterschiedliche Anlässe, aus denen ein Flugzeug seinen *End-of-Life*-Status erreicht, und an denen das entsprechende Recyclingsystem ansetzen muss. Im Folgenden werden daher grob vier unterschiedliche *Events* unterschieden, die zu einer Recyclerfordernis führen. Diese können einzeln, aber auch gemeinsam dazu führen, dass ein Flugzeug aus dem aktiven Flugdienst ausscheidet:

- Planmäßiger Flotten-Ersatz
- Stilllegung aus der Parksituation
- Technischer Schaden, der eine Reparatur unmöglich oder wirtschaftlich uninteressant macht
- Wirtschaftliche Gründe beim Eigentümer (z.B. Insolvenz, Verkauf o.a.).

Diese grob unterschiedenen vier Situationen, aus denen es zu einem Recycling von Flugzeugen kommen kann, unterscheiden sich stark in punkto Planbarkeit, Vorgehensweise und benötigter Expertise, um das Recycling effektiv, umweltgerecht und sicher durchzuführen.

Beim planmäßigen Flotten-Ersatz sowie bei einer Stilllegung der Flugzeuge aus der Parksituation heraus ist aufgrund der langfristigen Planbarkeit eine Industrialisierung des Recyclingprozesses am ehesten möglich und wird heute mit einigen Einschränkungen auch bereits praktiziert. Die Flottenplanung bei Airlines ist – nicht zuletzt aufgrund der hohen Investitionskosten und der gut gefüllten Orderbücher bei den großen Flugzeugherstellern – zwangsläufig langfristig ausgerichtet. Allerdings ist bei den betreffenden Flugzeugen der Anteil des zu recycelnden Materials im Vergleich zu den noch als Brauchteil nutzbaren Komponenten des Flugzeugs hinsichtlich ihres Marktwerts sehr gering. Die Verwertung des Flugzeugs richtet sich daher in der Regel nach der möglichen Verwertung von Ersatzteilen – insbesondere der Triebwerke, der Fahrwerke und der Avionik. Diese sind aufgrund ihrer häufig noch geltenden Zulassung für den Betrieb in Flugzeugen zu einem Vielfachen des Werts der (Roh-)Materialien am Markt platzierbar. Mögliche Verwertungswege sind also auch von der Marktsituation für Brauchteile in der Luftfahrt abhängig. In der Regel ist jedoch davon auszugehen, dass noch zugelassene Teile immer zunächst den Weg zurück in den Ersatzteilmarkt nehmen werden, da der zu erzielende Erlös ein vielfaches des über ein Recycling zu erzielenden Marktwerts ausmachen wird.

Die Entscheidung zur Überführung der Flugzeuge in das Recycling wird also in der Regel vom Flugzeugeigentümer (häufig Airlines oder Leasinggeber) in Zusammenarbeit mit dem jeweiligen Wartungsdienstleister und der zugehörigen Lufttüchtigkeitsorganisation getroffen. Die Verwertung von Ersatzteilen ist in der Luftfahrt ausschließlich durch hierfür zugelassenes und entsprechend den Regeln der Luftfahrtbehörden zertifiziertes Personal durchzuführen, wenn die Einsatzmöglichkeit im Flugbetrieb und damit der Wert der Teile erhalten werden soll. Ein Recyclingunternehmen wird diese Zulassung in der Regel nicht wirtschaftlich vorhalten können.

Allerdings ist ein planbares Ausmustern ganzer Flugzeuge auch seitens der Recyclingwirtschaft bei der Entwicklung entsprechender Geschäftsmodelle interessant, da der entstehende Massestrom aufgrund der rechtzeitig bekannten zu recycelnden Flugmuster, der zu erwartenden Mengen und des daraus abzuleitenden jeweiligen Materialmixes hier am besten kalkulierbar ist. Um ein standardisiertes Recyclingsystem im Bereich der Flottenerneuerung oder aus der Parksituation heraus zu etablieren, ist also insbesondere eine enge Kommunikation zwischen den unterschiedlichen Akteuren der Luftfahrt und der jeweiligen Recyclingindustrie notwendig.

Aufgrund der vergleichsweise guten Planbarkeit des Recyclings aus dieser Ausgangssituation heraus, ist die Bildung strategischer Partnerschaften zur effizienten und schlanken Organisation des Recyclings gut möglich. Auch ist eine gewisse Planbarkeit hinsichtlich des Ortes, an dem das Recycling stattfindet möglich.

Entsteht ein technischer Schaden an einem Flugzeug, der eine Reparatur technisch oder wirtschaftlich unmöglich macht, determiniert der Aufenthaltsort des Flugzeugs das weitere Vorgehen. Hier kommt der Lufttüchtigkeitsorganisation, über die die großen Wartungsdienstleister in der Regel verfügen, bei der Entscheidung wie mit dem jeweiligen Flugzeug verfahren werden soll, eine entscheidende Rolle zu. Sie berät den Eigentümer hinsichtlich der sicherheitstechnisch notwendigen, aber auch der wirtschaftlich sinnvollen weiteren Vorgehensweise.

So wird der Eigentümer zunächst bemüht sein, das Flugzeug an Ort und Stelle zumindest soweit zu reparieren, dass ein Überführungsflug zu einem Standort seiner Wahl möglich ist, falls eine Reparatur angestrebt wird. Ist das nicht möglich, wird er eine Reparatur vor Ort anstreben. Lediglich wenn auch das nicht möglich ist, ist es notwendig, eine *Vor-Ort-Lösung* für das Recycling des Flugzeugs zu finden. Der Transfer auf einen Flugzeugfriedhof steht somit in der Regel nicht zur Auswahl.

Hier besteht häufig ein größerer Zeitdruck im Vergleich zur planmäßigen Ausmusterung, da ein Parken von Flugzeugen – zumindest auf den größeren Verkehrsflughäfen – mit relativ hohen Kosten verbunden ist, denn die Flugzeuge müssen im Sicherheitsbereich der Flughäfen entsprechend nach Luftfahrtrecht gesichert werden. Erschwert wird dies dadurch, dass ein effizientes Zerlegen und Recycling der Flugzeuge vor Ort aufgrund der Sicherheits- und Zollbestimmungen der Flughäfen stark eingeschränkt ist und entsprechend hohe Anforderungen an das jeweilige Recyclingunternehmen stellt.

Im Falle wirtschaftlicher Gründe für eine Stilllegung von Flugzeugen handelt es sich häufig um Insolvenzen der jeweiligen Flugzeugbetreiber. In diesem Falle muss meist zunächst die Frage der genauen Eigentumsverhältnisse geklärt werden und wie damit weiter verfahren werden soll. Da hier teilweise mehrere Gläubiger involviert sind, kann es dazu kommen, dass zunächst entweder eine langwierige Prüfung der Sachlage erfolgt, in der das Flugzeug vor Ort geparkt werden muss, oder einzelne Komponenten – zumeist die im Verhältnis sehr wertvollen Triebwerke – gepfändet werden. Im Ergebnis bedeutet dies für das restliche Flugzeug, dass es nur noch mit sehr großem Aufwand wieder flugtauglich gemacht werden kann. Somit muss zumindest das Zerlegen möglicher zu recycelnder Reste ebenfalls vor Ort mit den oben bereits beschriebenen Restriktionen hinsichtlich des Agierens im abgesicherten Bereich eines Flughafenumfelds erfolgen.

Über diese Situationen hinaus, in denen es zur Entsorgung oder Verwertung von Flugzeugen kommen kann, kann eine Recyclingsituation auch aus dem bestehenden Betrieb der Flugzeuge entstehen:

- Durch das Recycling ersetzter oder reparierter Komponenten eines Flugzeugs sowie Konversion/Umbau von Flugzeugen (*Werkstattentsorgung*)
- Durch Ablauf von Zulassungen für Ersatzteile eine notwendig gewordene dokumentierte Zerstörung von Ersatzteilen (*Lagerentsorgung*)

Sowohl bei der Werkstattentsorgung als auch bei der Lagerentsorgung wird also kein vollständiges Flugzeug recycelt. Es handelt sich vielmehr um das Recycling von Einzelteilen. Auch wenn dies zunächst marginal erscheint, sollte bei der Betrachtung der zugehörigen Geschäftsmodelle auch dieser Bereich berücksichtigt werden, da die

Werkstatt- und Lagerentsorgung dabei helfen können, das stark zyklische Geschäft gerade in Zeiten geringer Auslastung auszugleichen. Auch in diesem Bereich sind die Schnittstellen zwischen Luftfahrt und Recyclingbranche zu berücksichtigen.

In der Regel ist aus luftfahrtrechtlicher Sicht eine nachweisliche Unbrauchbarmachung der zu recycelnden Teile und Komponenten notwendig. Dies ist zum einen zur Verhinderung der erneuten Inverkehrbringung, zum anderen aus teilweise zollrechtlichen Gründen notwendig. Während ersteres darauf abzielt, sog. *Bogus Parts*, die widerrechtlich den Weg in den Flugbetrieb finden, unmöglich zu machen, ist letzteres notwendig, da die Lagerung von Ersatzteilen häufig im *Schengen*-Bereich der Flughäfen stattfindet, um einen internationalen Transport möglich zu machen. Um nun wirtschaftlich sinnvoll in das Recycling einsteigen zu können, ist die formale Umwandlung der Ersatzteile in Recyclingmaterial anzustreben, bevor eine formale zollrechtliche Einfuhr der erzeugten Reststoffe erfolgt, da ansonsten eine steuerliche Behandlung zum Wert der noch zugelassenen Ersatzteile erfolgen würde. Dies kann zum Beispiel durch die dokumentierte Zerstörung der Teile vor der zollrechtlichen Einfuhr erfolgen.

Es lässt sich also feststellen, dass in allen unterschiedlichen Varianten des Flugzeugrecyclings eine Zusammenarbeit zwischen den unterschiedlichen Marktteilnehmern aus Recyclingwirtschaft und Luftfahrt unerlässlich ist, wenn ein wirtschaftlich verträgliches Recycling von Flugzeugen machbar werden soll.

### 3. Aktuelle Marktsituation

Wie eingangs bereits angedeutet findet Flugzeugrecycling im Wortsinne heute eigentlich kaum statt. Während der Handel mit zertifizierten Ersatzteilen und Komponenten im nach Luftfahrtrecht zugelassenen Bereich durchaus etabliert ist, ist der Ansatz, Flugzeuge einem Recycling im Sinne der Kreislaufwirtschaft zuzuführen, noch stark unterentwickelt. Aufgrund der komplexen Materialverbünde kann man hier allenfalls von *Downcycling* sprechen, da eine Rückgewinnung der Ausgangsstoffe derzeit noch kaum möglich erscheint.

Konsequent entwickelt ist lediglich ein Teilbereich der gesamten Wertschöpfungskette. Insbesondere das Downcycling alter Flugzeuge am Rande der Flugzeugparkplätze blickt bereits auf eine gewisse Historie zurück. In Europa steckt die Flugzeugverwertung noch in den Kinderschuhen. Das liegt an geografischen Gegebenheiten, am Klima, aber auch daran, dass die in Europa aktiven Flotten deutlich jünger sind, als in vielen anderen Teilen der Welt.

Der volumenmäßig größte Anteil an zerlegten und einer Nachnutzung zugeführten Flugzeugen ist heute auf den Flugzeugfriedhöfen aus der Parksituation heraus zu beobachten. Auf die Entstehung dieser Flugzeugfriedhöfe wurde bereits eingegangen. Dementsprechend gering ist die Zahl an in Europa zerlegten und recycelten Flugzeugen.

In Europa ist demnach Flugzeugrecycling kaum etabliert. Professor Woidasky spricht von europaweit insgesamt acht Unternehmen, die sich mit dem Themenfeld befassen. Nach derzeitigem Kenntnisstand kann keines dieser Unternehmen die gesamte Wertschöpfungskette im Flugzeugrecycling vollständig abbilden.

Den bisher umfassendsten Ansatz verfolgt das Gemeinschaftsunternehmen TARMAC in Frankreich. Die Aktivität basiert auf einem vorausgegangenen Forschungsprojekt des Flugzeugbauers Airbus unter dem Namen *PAMELA*, in dem beispielhaft eine A300 zerlegt und auf Recycelbarkeit überprüft wurde. Die Ergebnisse des von der EU geförderten Projekts besagen, dass bis zu achtzig Prozent des Flugzeugmusters mit heutigem Stand der Technik in ein Recycling überführt werden könnten. Da nur sehr wenige Details des Projektes veröffentlicht wurden, lässt dies jedoch keine Rückschlüsse zu, wie weit die Wertschöpfungskette des Flugzeugrecyclings bis hinein in ein entsprechendes Materialrecycling tatsächlich operativ umgesetzt wird. Insgesamt kann man aber feststellen, dass das Recycling lediglich in geringen Stückzahlen erfolgt, die deutlich unter der Zahl der jährlich stillgelegten Flugzeuge liegt. Ferner liegt das Geschäftsmodell des Vorhabens in Frankreich vornehmlich in der Nachnutzung noch luftfahrtzugelassener Teile sowie in der Bereitstellung von Parkmöglichkeiten für Flugzeuge.

Weiter entwickelt erscheint im Gegensatz dazu das Geschäftsmodell des Unternehmens Aircraft End-of-Life Solutions BV (AELS) aus den Niederlanden, welches sowohl Hochwertteilengewinnung als auch die Nachnutzung des Airframes sowohl zum Zwecke des Recyclings als auch für anderweitige Nutzungen anbietet. Das eigentliche Materialrecycling hingegen wird sowohl in Frankreich als auch in den Niederlanden über Dienstleister aus der Recyclingwirtschaft abgedeckt. Man kann also von luftfahrtorientierten Geschäftsmodellen sprechen.

Einen anderen Ansatz verfolgt die Keske Entsorgung GmbH aus Braunschweig/ Deutschland. Mit Fokus auf das Materialrecycling beschäftigt sich das Unternehmen insbesondere mit der Entwicklung sicherer und umweltfreundlicher Prozesse für das Zerlegen, Sortieren und Recyceln der nicht mehr für den Luftfahrtbetrieb geeigneten Teile des Flugzeugs. So wurde beispielsweise im Verbund mit der Technischen Universität Clausthal, der STUTE Logistics (AG & Co.) KG aus Bremen und der Süderelbe AG aus Hamburg im Rahmen des Forschungsprojekts *MORE-AERO* eine mobile Recyclingeinheit entwickelt, die Flugzeuge dezentral weltweit zerlegen und vorzerkleinern kann, um die somit transportabel gewordenen Einzelteile einem effizienten Recycling zuführen zu können. Ziel ist hier die möglichst hochwertige Aufarbeitung der Materialien, um ein Downcycling zu verhindern und somit die Wertschöpfung zu erhöhen und gleichzeitig eine umweltgerechte Entsorgung nach deutschem Standard sicherzustellen.

In der derzeitigen Marktsituation (s.o.) ist insbesondere der Flottenaustausch als wachsendes Feld mit Potenzial zum Aufbau entsprechender Wertschöpfungsketten in Europa zu sehen. Aus den bereits beschriebenen Gründen gehen auch europäische Fluggesellschaften und Flugzeugeigentümer verstärkt dazu über, eigene Flugzeuge nicht weiter zu verkaufen sondern stillzulegen. Doch auch hier ist das Volumen der in Europa recycelten Flugzeuge eher gering. Da für jedes Flugzeug eine individuelle Lösung hinsichtlich der Balance zwischen Nachnutzung noch nutzbarer Teile und Komponenten und dem Materialrecycling gesucht werden muss, werden noch immer mehrheitlich Flugzeuge in die USA überführt und dort im Rahmen des ohnehin stattfindenden Entsorgungsprozesses abgewrackt. Dies liegt nicht zuletzt daran, dass in Europa trotz der insbesondere in Deutschland sehr weit entwickelten Recyclingtechnologien Flugzeuge kaum für das Recycling in Betracht kamen.



Das weitaus größte Potenzial für die Recyclingwirtschaft liegt derzeit bei Flugzeugen, die aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen keinen Überführungsflug in die USA mehr absolvieren können (z.B. bei flugunfähigen Modellen). Aufgrund der relativ weit entwickelten Technologien hinsichtlich Sortierung und Trennung komplexer Verbundmaterialien verfügt Deutschland hier über einen Markt- und Standortvorteil. Allerdings muss man feststellen, dass das weitaus größte Finanz- und damit Umsatzvolumen im Bereich des Hochwertteilehandels liegt, also des Handels mit Ersatzteilen, deren Lebenszyklus noch eine Restnutzungszeit ermöglicht. Dieser finanzielle Vorteil überwiegt insbesondere aus Sicht der Luftfahrtbranche, weshalb bisher kein entsprechender Fokus auf die Entwicklung einer Wertschöpfungskette in Europa gelegt wurde.

#### 4. Voraussetzungen für ein ganzheitliches Flugzeugrecycling in Deutschland

Um langfristig an den Wertschöpfungspotenzialen im Flugzeugrecycling teilhaben zu können, ist eine sehr viel stärkere Verschränkung der Luftfahrt- und der Recyclingbranche notwendig. Aufgrund der hohen Standards in punkto Sicherheit, Qualitätssicherung und Zertifizierung bestehen jedoch immense Marktzugangsbarrieren in der Luftfahrt. Daher ist es notwendig, insbesondere für den Bereich Maintenance, Repair/Overhaul (MRO) in der Luftfahrt eine Integration des Recyclings in das jeweilige Geschäftsmodell der Airlines, Leasing- und Finanzierungspartner sowie der MRO-Unternehmen zu ermöglichen. Nur wenn dies gelingt, kann sowohl eine Zuführung der Alt-Flugzeuge in die Recyclingwirtschaft als auch die Nach-Nutzbarkeit von Ersatzteilen sichergestellt sein. Beides ist Voraussetzung, um ein Recyclingsystem für Flugzeuge wirtschaftlich zu betreiben.

#### 5. Zusammenarbeit zwischen Luftfahrt- und Recyclingwirtschaft – ein ungleiches Paar –

In der Zusammenarbeit zwischen Luftfahrt und Recyclingwirtschaft liegt also die eigentliche Herausforderung bei der Entwicklung konsistenter Wertschöpfungsketten auf Basis tragfähiger Geschäftsmodelle. Dies zeigt sich an der jeweiligen Schnittstelle beider Branchen – beispielsweise beim Zerlegen des Flugzeugs:

Während die Luftfahrt darauf angewiesen ist, noch nutzbare Teile mit z.T. erheblichem Aufwand vorsichtig aus dem vorhandenen Flugzeug mit hohem manuellen Arbeits- und Dokumentationsanteil und entsprechenden Kosten auszubauen, um keine Beschädigungen an den Teilen zu verursachen und somit alle Anforderungen an Nachnutzbarkeit zu gewährleisten, arbeitet die Recyclingwirtschaft größtenteils mit automatisierten, maschinisierten Zerkleinerungsprozessen, die zunächst vor allem auf die Zerkleinerung und automatische Sortierung der Materialien ausgerichtet sind. Dies erklärt auch die großen Kosten- und Wertunterschiede zwischen noch nachnutzbaren Teilen und zu entsorgendem Material und macht gleichzeitig die Integration von Flugzeugrecycling in das Geschäftsmodell der Luftfahrt so schwierig.

So können beispielsweise allein die Kosten für Zugang und Sicherung des Arbeitsbereichs innerhalb des Sicherheitsbereichs eines Flughafens sowie die Logistikkosten für Abtransport und zollrechtliche Ausfuhr der zerlegten Flugzeuge den Aufwand für die Zerlegung und Zerkleinerung des Flugzeugs über das Niveau des daraus zu gewinnenden Materialwerts heben und somit ein etwaiges Geschäftsmodell schnell zunichte machen. Heute wird daher davon ausgegangen, dass bei der Entsorgung der Restmaterialien kein positiver Deckungsbeitrag zu erwirtschaften ist.

## 6. Flugzeugrecycling als System

### – Networking ist gefragt –

Um dieser Situation zu begegnen, ist nicht zuletzt ein besseres gegenseitiges Verständnis und eine Abstimmung der Prozesse der jeweiligen Branchen von Nöten. Ohne grundlegende Kenntnisse im Luftfahrtrecht und der Luftfahrtbranche wird es ein Recyclingunternehmen mit der Etablierung im Themenfeld Flugzeugrecycling schwer haben. Gleichermaßen kann ein Luftfahrtunternehmen ohne Berücksichtigung der deutlich geringeren Preisspannen und den entsprechenden Anforderungen an Materialbehandlung, Sortierung und Automatisierung der Folgeprozesse im Materialrecycling kaum Mehrwerte aus der Verwertung der Materialien ziehen. Es ist also eine möglichst intensive Vernetzung miteinander kooperierender Spezialisten gefragt, um ein effizientes Flugzeugrecycling in Europa zu ermöglichen. Dies ist insbesondere wichtig, da das Parken von Flugzeugen in Europa aufgrund der vorherrschenden Witterungsverhältnisse unverhältnismäßig teurer ist als auf vergleichbaren Parkplätzen in Afrika, Amerika oder dem Nahen Osten. Hier ist jedoch noch ein langer Weg zu gehen. Um die Wertschöpfungspotenziale in Europa zu heben, muss mit deutlich größerer Effizienz das gesamte Flugzeug in allen einzelnen Spezialbereichen auf wirtschaftliche Art und Weise nachgenutzt werden.

Die größten Herausforderungen – aber auch Chancen für deutsche Technologien - liegen hier insbesondere im Materialrecycling. So müssen für das Recycling von Flugzeugen spezialisierte Verwertungsketten unterschiedlichster Materialien wie Aluminium, Titan, Stahl, Nickel, seltener Stoffe wie Rhenium, Wolfram und Tantal, aber auch Kunststoffe aller Art bis hin zu Kohlefaser- und Glasfaserverbundstoffen sowie das Recycling der Bordelektronik zur Verfügung stehen. Dies ist vermutlich nur über ein Netzwerk hochspezialisierter Wertschöpfungspartner zu erreichen.

## 7. Flugzeugrecycling als Geschäftsmodell?

### – Der Versuch eines Stakeholder-Überblicks –

Wenn Flugzeugrecycling langfristig als Geschäftsmodell etabliert werden soll, müssen also die verschiedensten Stakeholder effektiv zusammenarbeiten. Daher lässt sich festhalten, dass nicht ein Geschäftsmodell *Flugzeugrecycling* vonnöten ist, sondern in den jeweiligen Spezialdisziplinen eigenständige Geschäftsmodelle vorhanden sein müssen, um insgesamt wettbewerbsfähig gegenüber der vergleichsweise kostengünstigen Entsorgung über ein *Downcycling* und Flugzeugfriedhöfe zu sein.

Gelingt es jedoch, individuell erfolgreiche Geschäftsmodelle für die jeweiligen Spezialisten zu entwickeln, besteht aufgrund der oben beschriebenen Marktpotenziale durchaus die Chance, einen entsprechenden Standortvorteil mit Synergien für die betreffenden Wertschöpfungspartner zu entwickeln.

So werden Recyclingunternehmen, die sich mit den Restmaterialien im Flugzeugrecycling befassen, davon abhängig sein, dass die zugehörigen Luftfahrtunternehmen – in diesem Fall insbesondere MRO-Betriebe – die Entsorgung ganzer Flugzeuge in ihr jeweiliges Angebotsportfolio integrieren. Nur so wird es der Recyclingwirtschaft gelingen, Flugzeuge in ausreichender Menge überhaupt in Deutschland im Zugriff zu haben. Das bedeutet, dass das betreffende Recyclingunternehmen seine Stärken – Zerkleinerung, Sortierung und sortenreine Aufbereitung nach Rohstoffen – nur für solche Flugzeuge anwenden kann, die keinerlei luftfahrtrechtlich zertifizierte und damit am Weltmarkt als Ersatzteil handelbare Teile mehr enthalten. Insofern sind MRO-Betriebe im Verbund mit den jeweiligen Flugzeugeigentümern als strategische Partner zum Aufbau von Geschäftsmodellen für Unternehmen der Entsorgungswirtschaft im Recycling von Flugzeugen notwendig.

Doch auch wenn diese Kooperation gelingt, wird aufgrund der Vielzahl der Stoffverbünde in Flugzeugen noch immer ein Netzwerk unterschiedlicher Spezialisten für die Aufbereitung der unterschiedlichen Metalle, Kunststoffe sowie Flüssigkeiten oder anderer Reststoffe notwendig sein, um den jeweils optimalen Entsorgungs- und Verwertungspfad für die jeweiligen Stoffe anbieten zu können.

Gelingt es, aus der Verwertung der Materialien neue Produkte am Markt zu etablieren – beispielsweise durch Auftrennung der Legierungen im Aluminiumbereich hin zur Wiedereinspeisung in die Aluminiumproduktion – ist die Recyclingwirtschaft durchaus in der Lage, einen wettbewerbsfähigen Preis für die Resthülle bereits entkernter Flugzeuge zu bieten. Dies wiederum hat Einfluss auf die Werte der zu recycelnden Flugzeuge, was positiv in die *Entsorgungskalkulation* der luftfahrtseitigen Partner einfließt.

Somit profitiert die Luftfahrtseite auch wirtschaftlich hinsichtlich der Preis-/und Kostensituation bei der Verwertung ausgedienter Flugzeuge. Dabei ist zu berücksichtigen, dass ein MRO-Betrieb in der Regel nicht als Eigentümer von Flugzeugen in Erscheinung tritt, sondern als Dienstleister dem Flugzeugeigentümer (z.B. einer Airline oder einem Leasinggeber) die Verwertung von Flugzeugen und Flugzeugkomponenten anbietet. Bei der Preisfindung findet die Entsorgung der nicht mehr zugelassenen Teile des Flugzeugs heute in der Regel keine bzw. negative Berücksichtigung. Grob gesagt setzt sich luftfahrtseitig der Wert eines Flugzeugs aus dem Marktwert der noch nachnutzbaren Teile zusammen – soweit dies noch möglich ist. Dies sind als größte Posten zumeist die Triebwerke, Fahrwerke sowie die Avionikkomponenten.

Die Aufgabe eines MRO-Betriebs wäre es in diesem Fall, die zugehörigen Teile nach den Regelungen der Luftfahrt auszubauen, zu prüfen, ggf. zu rezertifizieren, nach Luftfahrtregeln zu lagern sowie die nötigen administrativen Tätigkeiten (sog. *Paperwork*) durchzuführen, um die Luftfahrtzulassung der Ersatzteile zu erhalten. Nur falls dies gelingt, sind die betreffenden Teile und Komponenten auch tatsächlich als Ersatzteil nutzbar.

Der Handel/Verkauf solcher Komponenten erfolgt in der Regel wiederum nicht durch MRO-Betriebe sondern seinerseits durch entsprechend spezialisierte Teilehändler, die die jeweiligen Bestimmungen hinsichtlich Zertifizierung, Lagerung, Transport etc. ebenfalls erfüllen müssen. Dies kann im Auftrag des letzten Flugzeugeigentümers erfolgen, oder der Händler erwirbt die jeweiligen Teile vom Eigentümer der Flugzeuge. In einigen Fällen übernehmen auch MRO-Betriebe die Rolle des Händlers oder erwerben ihrerseits die Ersatzteile für den Einsatz im eigenen MRO-Geschäft, hier sind also auch Mischformen der einzelnen Geschäftsmodelle denkbar.

Eine wettbewerbsfähige Wertschöpfungskette, die durch Verwertung aller Restmaterialien wiederum einen positiven Deckungsbeitrag bei der Verwertung des jeweiligen Flugzeugs beitragen kann, verbessert somit nicht nur die wirtschaftliche Verwertbarkeit der Flugzeuge gegenüber dem Flugzeugeigentümer, sondern kann seinerseits einen indirekten Wettbewerbsvorteil für den MRO-Dienstleister darstellen, die Entsorgung eines Flugzeugs durchzuführen. Langfristig kann dies auch die Auswahl des MRO-Anbieters über den gesamten Lebenszyklus eines Flugzeugs positiv beeinflussen, wenn dieser im Sinne eines Lebenszyklus-Ansatzes im Rahmen eines Netzwerks zur Flugzeugentsorgung auch die Entsorgung/das Recycling des Flugzeugs ganzheitlich sicherstellen kann. Aufgrund der bereits dargestellten Historie und der langen Lebenszyklen in der Luftfahrt kommt – anders als im Automobilrecycling – den Flugzeugherstellern hinsichtlich des Flugzeugrecyclings hier derzeit eine geringere Bedeutung zu.

## 8. Flugzeugrecycling als Chance für den Standort Deutschland?

Wie gezeigt werden konnte, bestehen im Flugzeugrecycling zahlreiche Markt-Chancen, die jedoch noch deutlich unterentwickelt sind. Ein funktionierender Markt für Flugzeugrecycling ist aufgrund der geringen Volumina und der speziellen Rahmenbedingungen in der Luftfahrt noch nicht entstanden. Es bestehen mit den sich nun verändernden Rahmenbedingungen jedoch durchaus Chancen, auch in Deutschland am erwarteten Bedeutungszuwachs dieses Marktsegments in Zukunft teilzuhaben, falls es gelingt, eine effiziente und dezentral funktionierende Wertschöpfungskette zu etablieren.

Die notwendigen Kompetenzen sowohl in der Luftfahrt als auch in der Recyclingwirtschaft sind in Deutschland vollständig vorhanden. Vor allem die herausragende Position deutscher Recyclingtechnologien stellt hier ein Potenzial dar. Es fehlt jedoch an Erfahrungen in der Zusammenarbeit beider Branchen. Aufgrund der Internationalität der Luftfahrt besteht die Gefahr, dass Flugzeugrecycling sich wegen der Benachteiligung hinsichtlich der natürlichen Standortfaktoren außerhalb Deutschlands – auch mit Hilfe deutscher Recyclingtechnologien – entwickelt, wenn nicht eine stärkere Kooperation entlang der Wertschöpfungskette gelingen kann.

Dabei liegen die wirtschaftlichen Potenziale größtenteils in der Kombination der unterschiedlichen Wertschöpfungsstufen durch die Integration des Flugzeugrecyclings in andere, bereits bestehende Verwertungskanäle. Das ist luftfahrtseitig der Markt für Wartung, Reparatur und Überholung (MRO) und recyclingseitig das bereits gut

ausgebaute Verwertungsnetz. Die größten Potenziale sind damit jenseits klassischer Geschäftsmodelle im Flugzeugrecycling, vielmehr in der Kombination bisher nicht miteinander verbundener Komponenten der Luftfahrt und der Recyclingbranche zu suchen.

Notwendig wäre zur weiteren Entwicklung der Potenziale in Deutschland eine deutlich stärkere Vernetzung der Marktakteure und eine Zusammenarbeit der verschiedenen Spezialdisziplinen, um gegenseitige Synergiepotenziale zu heben.

**KOSTENLOS  
TESTEN**

## RECYCLING MAGAZIN LESEN, WAS DIE BRANCHE BEWEGT

ENTDECKEN SIE JETZT UNSER SPECIAL

**6 AUSGABEN GRATIS PROBELESEN**

**ALLE 14 TAGE NEU**

**NEUESTE ENTWICKLUNGEN ZU TECHNIK,  
WIRTSCHAFT, POLITIK UND RECHT**

**REPORTAGEN, INTERVIEWS,  
MARKTANALYSEN**

**JETZT ONLINE BESTELLEN UNTER:  
[www.recyclingmagazin.de/probelesen](http://www.recyclingmagazin.de/probelesen)**



Weitere Informationen: [www.recyclingmagazin.de/probelesen](http://www.recyclingmagazin.de/probelesen)

Ihre Service-Hotline T: +49 (0)61 23 92 38-2 15 | F: +49 (0)61 23 92 38-2 16 | E: [order@recyclingmagazin.de](mailto:order@recyclingmagazin.de)

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.